

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
und des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. U. Lotzmann

Abteilung für Kieferorthopädie
Leiter: Professor Dr. J.M.H. Dibbets

**Die Entwicklung der Halswirbel als Kriterium für die skelettale Reife:
Vergleich mit der klassischen Methode der Handwurzelaufnahme**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Susan Jana Stiehl
aus Marienberg

Marburg an der Lahn, 2007

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am: 28.11.2007

Gedruckt mit freundlicher Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Professor Dr. M. Rothmund
Referent: Professor Dr. J.M.H. Dibbets
Korreferent: Professor Dr. M. Gente

Gewidmet meiner Familie

INHALT

1	EINLEITUNG	1
1.1	Entwicklung, Wachstum und Reifung	1
1.2	Skelettale Reife	2
1.3	Skelettales Alter	2
1.4	Reifebestimmung	2
1.5	Aufbau der Halswirbel	4
1.6	Literaturübersicht	5
1.7	Ziel	9
2	MATERIAL UND METHODE	10
2.1	Material	10
2.2	Methoden	12
2.2.1	Altersbestimmung und Gruppierung in Altersklassen	12
2.2.2	Skelettale Reifebestimmung	12
2.2.2.1	Skelettale Reifebestimmung anhand der Handröntgenaufnahme (HA)	12
2.2.2.2	Skelettale Reifebestimmung anhand der Fernröntgenseitenaufnahmen	14
2.2.2.2.1	HWS-Methode 1 nach Lamparski (1972)	14
2.2.2.2.2	HWS-Methode 2 nach San Roman et al. (2002)	17
2.2.3	Statistische Methoden	20
2.2.3.1	Intrabeobachter Fehler	21
2.2.3.2	Streudiagramme und Extremwerte	21
2.2.3.3	Mittelwert und Standardabweichung	22
2.2.3.4	Lineares Modell (Regression)	22
2.2.3.5	Korrelationsberechnung	23
2.2.3.6	Histogramm	24
3	ERGEBNISSE	25
3.1	Methodenfehler	25
3.1.1	Intrabeobachter Fehler	25
3.1.2	Kreuztabellen zur Bestimmung des Intrabeobachter Fehlers	26
3.2	Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und dem nach der Atlasmethode von Greulich und Pyle (GP) bestimmten skelettalen Alter	28
3.3	Mittleres Alter der Probanden in den einzelnen Reifephasen	29
3.4	Statistische Berechnungen	30
3.4.1	Lineares Modell (Regression)	31

3.4.2	Korrelation	32
3.4.2.1	Korrelation für die Phasen der skelettalen Reife der HWS-Methoden	32
3.4.2.2	Korrelation für die berechneten skelettalen Alter der HWS-Methoden	33
3.5	Vergleich der skelettalen Alterswerte der HWS-Methoden mit der Handmethode	34
3.5.1	Mittelwert und Standardabweichung	37
4	DISKUSSION	38
4.1	Methodenfehler	38
4.1.1	Intrabeobachter Fehler	38
4.2	Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und skelettalem Alter der Handmethode nach Greulich und Pyle	41
4.3	Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und Phasen der skelettalen Reife der HWS-Methoden	44
4.4	Korrelation der Reifsysteme skelettale Alter, chronologisches Alter und skelettale Reife	45
4.5	Überprüfung der Gültigkeit der HWS-Methoden	51
4.6	Grenzfälle	52
4.7	Extremfälle	54
5	SCHLUSSFOLGERUNG	57
6	ZUSAMMENFASSUNG	58
7	ABSTRACT	59
8	LITERATURVERZEICHNIS	60
9	ANHANG	66
10	VERZEICHNIS DER AKADEMISCHEN LEHRER	67
11	DANKSAGUNG	68

1 Einleitung

1.1 Entwicklung, Wachstum und Reifung

Entwicklung, Wachstum und Reifung stehen in engem Zusammenhang zueinander. Die Entwicklung umfasst alle in einem Organismus vorkommenden physiologischen Veränderungen. Sie beschreibt sowohl die qualitativen als auch quantitativen kontinuierlichen Veränderungen. Die Entwicklung vollzieht sich zumeist in Stadien. Die Reifung und das Wachstum sind Prozesse der Entwicklung. Das Wachstum ist unter anderem ein quantitativer Begriff, gemessen in Form von dimensionaler Zunahme über die Zeit (Nanda, 1999). Die Reifung ist eine autonome, durch Erbanlagen gesteuerte Entwicklung der Organe und des Gesamtorganismus bis zur Fähigkeit der Ausübung der physiologischen Funktion. Sie wird weder definiert in Größe, noch in Dimension, sondern als Sequenz von qualitativen Veränderungen angesehen. Qualitative Merkmale erscheinen dabei in einer vorhersagbaren, unveränderlichen Reihenfolge, ungeachtet des individuellen Reifezustandes zum chronologischen Alter (Nanda, 1999).

Jedes Individuum durchläuft während seiner Entwicklung Phasen der Wachstumsbeschleunigung und Verlangsamung, die in einer individuellen Wachstumskurve (Abbildung 1) ablesbar sind. Kinder mit gleichem chronologischen Alter wachsen nicht mit derselben Geschwindigkeit und erreichen das jugendliche Alter im Hinblick auf Wachstum nicht gleichzeitig. Jedes Individuum folgt seinem eigenen Zeitplan (Nanda, 1999). Aus diesem Grund eignet sich das chronologische Alter nicht als zuverlässige Bestimmungsmethode für den körperlichen Entwicklungsstand, dem physiologischen Alter. Der Wachstumsbereich, skelettale Entwicklung, ist für die Kieferorthopädie wichtig, da die Kenntnis des physiologischen Alters das Eingreifen in Wachstumsprozesse und deren Steuerung ermöglicht. Das Wachstum beeinflusst die kieferorthopädische Behandlung entscheidend. Es kann dabei unterstützend aber auch hinderlich wirken. Ungünstige Wachstumsverhältnisse können zur Verstärkung von Dysgnathien (z.B. Progenie) und Verschlechterung der Prognose beitragen. Somit ist es wichtig, den aktuellen Entwicklungsstand des Kindes zu bestimmen sowie ihn in einen Bereich der Wachstumskurve einzuordnen. Von besonders großer Bedeutung ist dabei der pubertäre Wachstumsspurt, welcher durch große Zunahme des Längenwachstums gekennzeichnet ist. Der Wachstumsspurt findet bei Mädchen 1-2 Jahre früher statt (Nanda, 1999).

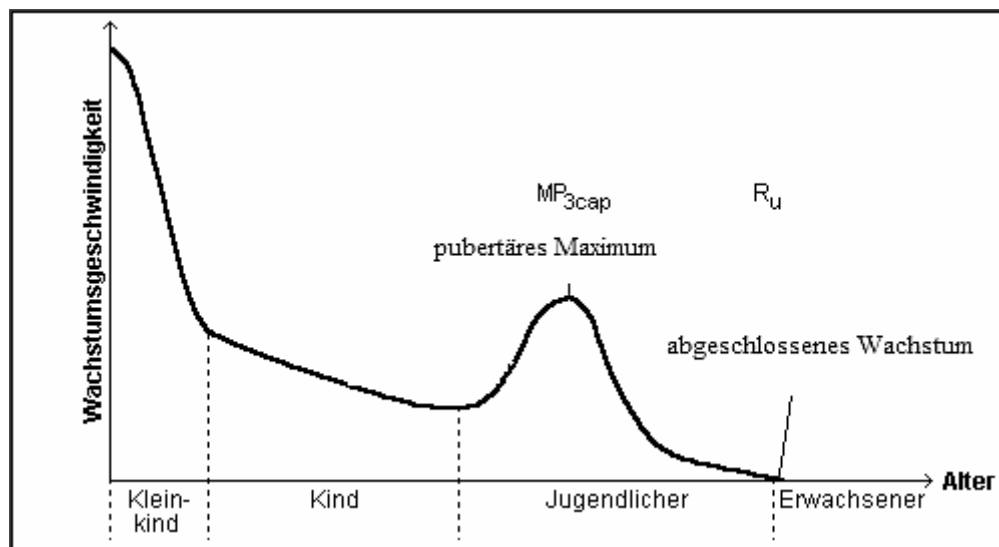


Abbildung 1. Wachstumskurve modifiziert nach Björk und Helm (1967)

1.2 Skelettale Reife

Die skelettale Reife ist der Entwicklungsstand des Skelettes, der in der vorliegenden Arbeit anhand der Handknochen und der Halswirbel ermittelt wurde. Während des Wachstums durchläuft jeder Knochen eine Reihe von Veränderungen, die röntgenologisch sichtbar sind. Die Sequenz der Veränderungen im Knochen ist nahezu in jeder Person konstant. Jedoch hängt der Beginn der Veränderungen von dem individuellen biologischen Zeitplan ab. (Greulich und Pyle, 1959)

1.3 Skelettales Alter

Das skelettale Alter ist der Entwicklungsstand des Skelettes ausgedrückt in Jahre, welches in der Arbeit aus einem Atlas (Greulich und Pyle, 1959) mit Standardaufnahmen abgeleitet wurde. Das skelettale Alter eines Standards von Greulich und Pyle (1959) wurde wie folgt bestimmt: 100 Handröntgenaufnahmen von sechsjährigen Kindern wurden vom niedrigsten zum höchsten Reifegrad geordnet und daraus der „Median der Serie“ als Standard für Sechsjährige festgelegt. Analog wurde bei den anderen Altersgruppen verfahren.

1.4 Reifebestimmung

Die skelettale Reife ausgedrückt, als ein skelettales Alter in Jahren, lässt im Unterschied zum

chronologischen Alter Rückschlüsse auf das noch zu erwartende Wachstum zu. Anhand der Skelettreifung können außerdem Aussagen gemacht werden, mit welcher Geschwindigkeit dies voraussichtlich erfolgen wird.

Viele Autoren haben versucht, die besten Indikatoren für die skelettale Reifebestimmung zu finden. Es wurden die Parameter: Menarche (Björk und Helm, 1967), Körpergröße (Tanner et al. , 1976), das chronologische Alter (Hägg und Taranger, 1980), die dentale Entwicklung (Hägg and Matsson, 1985), die skelettale Entwicklung der Hand (Greulich und Pyle, 1959; Grave und Brown, 1976) und die skelettale Entwicklung der Halswirbel (Lamparski, 1972; Hassel und Farman, 1995; Garcia-Fernandez et al., 1998) zur Identifizierung der Reifephasen herangezogen.

In der kieferorthopädischen Befunderhebung spielt die skelettale Reifebestimmung eine entscheidende Rolle. Sie bestimmt neben anderen Faktoren den Behandlungszeitpunkt, die Art und die Dauer sowie die Prognose der kieferorthopädischen Behandlung.

Die skelettale Reife kann nach verschiedenen Methoden bestimmt werden. Die am häufigsten verwendete Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife in der Kieferorthopädie basiert auf Handröntgenaufnahmen. Die Hand ist ein kleiner und röntgenologisch gut abzubildender Körperteil, bei dem eine Vielzahl von Ossifikationszentren zu finden sind. Die Zeitpunkte der Verknöcherung dieser Ossifikationszentren sind unterschiedlich und folgen einer vorhersagbaren Reihenfolge. Somit kann anhand der Handröntgenaufnahme das skelettale Alter während des gesamten skelettalen Entwicklungsprozesses bestimmt werden. Die Indikation zur Anfertigung einer Handröntgenaufnahme ist gegeben, wenn im Rahmen einer kieferorthopädischen Therapie Wachstum genutzt werden soll oder wenn während oder nach einer Behandlung negative wachstumsbedingte Folgen zu befürchten sind. Das Handröntgenbild dient der Feststellung des skelettalen Alters, das für die Wahl des optimalen Behandlungsbeginns entscheidend und für den Abschluss der Behandlung von Bedeutung ist. Es gibt generell zwei Verfahren zur Beurteilung der skelettalen Reife anhand der Handröntgenaufnahmen. Das eine ist der Vergleich der Handröntgenaufnahme des Probanden mit den Abbildungen von Handröntgenaufnahmen, so genannte Standardaufnahmen, im Atlas von Greulich und Pyle (1959) (Kapitel 2.2.2.1.1). Dabei wird das skelettale Alter mit Hilfe des ähnlichsten Standards festgelegt (Kapitel 2.2.2.1.1). Das zweite Verfahren beruht auf der

Bestimmung von spezifischen Indikatoren des Handskelettes zur Einschätzung der skelettalen Reife und Einordnung in die Wachstumskurve. Von diesem Verfahren existieren mittlerweile eine Vielzahl von Varianten (Björk (1972), Grave und Brown (1976) oder Fishman (1982) usw.). In der Kieferorthopädie in Marburg wird die Methode Grave und Brown (1976) mit der Wachstumskurve nach Björk (1972) für die Bestimmung der skelettalen Reife benutzt. Mit Hilfe ihrer Methoden kann das Wachstumspotential schnell eingeschätzt werden. Obwohl die skelettale Reifebestimmung mittels der Handröntgenaufnahme häufig angewendet wird und zuverlässig ist, besteht der große Nachteil dieser Methode in einer zusätzlichen Röntgenaufnahme.

Um die zusätzliche Strahlenexposition der Handröntgenaufnahme zu vermeiden, wurde die skelettale Reife anhand der Halswirbel auf dem Fernröntgenseitenbild (FRS) beurteilt. Auf einem FRS sind Knochen des Schädels und Teile der Halswirbelsäule abgebildet. Während des skelettalen Entwicklungsprozesses verändert sich die Form der Halswirbelkörper in einer vorhersagbaren Reihenfolge, so dass die skelettale Reife eines Kindes eingeschätzt werden kann. Das Fernröntgenseitenbild findet standardmäßige Anwendung in der Kieferorthopädie. Fernröntgenseitenbilder erlauben eine schädelbezügliche Lage- und Größenbestimmung der Kiefer, eine Messung der Achsenstellung der Front- und Seitenzähne, eine metrische Analyse der Gesichtsschädelstrukturen und eine Differenzierung von Kiefer- und Zahnstellungsanomalien.

1.5 Aufbau der Halswirbel

Die Wirbelsäule ist von kranial nach kaudal aus sieben cervicalen Wirbeln, zwölf thorakalen Wirbeln, fünf lumbalen Wirbeln und zuletzt das Os sacrum gefolgt vom Os coccygis aufgebaut. Das Os sacrum sowie das Os coccygis sind durch Verschmelzung von mehreren Wirbeln zu einer Knocheneinheit gekennzeichnet. Jeder Wirbel (vertebra) hat die gleiche Grundstruktur. (McNeill Alexander, 2005) Relevanz für die skelettale Reifebestimmung haben die Halswirbel (Vertebra cervicales, C2-C7). Die Grundstruktur eines Halswirbels besteht aus (Abbildung 2) einem Wirbelkörper (Corpus vertebra), einem Wirbelbogen (Arcus vertebra) und Fortsätzen (Processus vertebra). Entscheidend für die Untersuchung der Fernröntgenseitenaufnahmen ist der Wirbelkörper.

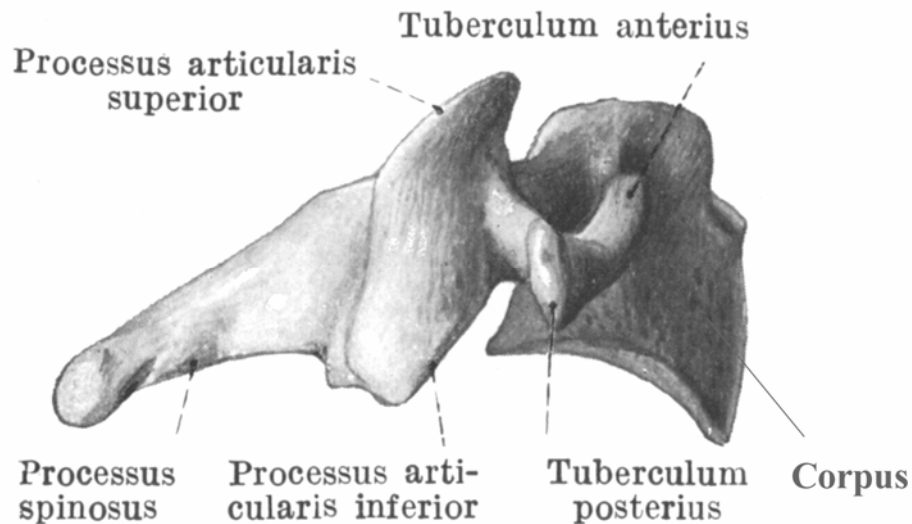


Abbildung 2. 3. Halswirbel aus Tandler (1926).

1.6 Literaturübersicht

In einer Anzahl von Studien wurde untersucht, ob das Wachstum und die Entwicklung der Halswirbelkörper für die skelettale Reifebestimmung benutzt werden kann.

In der Literatur gibt es bis 1970 keine umfassenden Versuche, welche die skelettale Reife in Relation mit der Wirbelkörperveränderung während der Entwicklung betrachten und Standards für jedes Alter festlegen. Erst Lamparski (Masterthesis Lamparski 1972, beschrieben in Lamparski und Nanda, 2002) stellte eine neue Methode zur skelettalen Reifebestimmung vor, indem er die Veränderungen der Halswirbelsäule als zuverlässige Entwicklungsindikatoren ansah. Er legte eine Reihe von Standards für jedes Geschlecht sowie Alter fest. Von diesen Standards konnte Lamparski (1972) eine Reihe von Reifeindikatoren auswählen, die das Wachstum und die Entwicklung von Halswirbelkörpern für jedes Alter von 10–15 Jahren beschreiben.

O'Reilly und Yanniello (1988) untersuchten zusätzlich zu Lamparski (1972) die Beziehung der Reifestadien der Halswirbelkörper zum Unterkieferwachstum. Dabei wurde ein Zusammenhang zwischen der Zunahme der Unterkieferlänge, der Corpuslänge sowie der Ramushöhe und den Reifephasen der Halswirbel gefunden.

Hellsing (1991) untersuchte die Körperhöhe und die Höhe und Breite von Halswirbeln von

Probanden mit 8, 11 und 15 Jahren sowie von erwachsenen Probanden. Sie stellte fest, dass mit zunehmendem Alter die Höhe und die Breite der Wirbelkörper zunimmt. Außerdem fand sie heraus, dass die Werte von Höhe und Breite der Wirbelkörper bei 15-jährigen Mädchen einer erwachsenen Frau glichen, wo hingegen bei Jungen noch ein Unterschied zum erwachsenen Mann bestand. Somit zeigte sie wie Lamparski (1972), dass Mädchen früher reifen. Ein Zusammenhang zwischen der Körperhöhe und der Höhen- und Längenzunahme der Wirbelkörper bei 8 sowie 11 jährigen Probanden wurde gefunden. Keine Korrelation gab es bei 15-jährigen Probanden, welche den pubertären Wachstumshöhepunkt schon durchlaufen hatten.

Mitani und Sato (1992) verglichen die Wachstumscharakteristik des Unterkiefers während der Pubertät mit dem Zungenbein, Halswirbelkörper, Handknochen und Körpergröße. Bei ihnen unterschied sich die Wachstumsrate des Unterkiefers von den anderen Wachstumsraten.

Hassel und Farman (1995) entwickelten als Modifikation der Lamparski-Methode einen Index (CVMI) zur Beurteilung der Reifestadien der Wirbelkörper (C2,C3,C4). Sie verwendeten für die skelettale Reifebestimmung der Handröntgenaufnahmen das SMI-System (8 Stadien) nach Fishman (1982). Die Ergebnisse der Fishman-Methode wurden mit den Veränderungen der Halswirbelkörper korreliert und zu 6 Stadien (CVMI) zusammengefasst. Hassel und Farman (1995) bestätigen die Gültigkeit der Lamparski-Methode. In ihrem Index wurden die Reifestadien nicht Altersgruppen zugeteilt. Statt dessen machten sie Aussagen zum Wachstumspotential eines Jugendlichen. Hassel und Farman (1995) fanden eine hohe Korrelation zwischen der skelettalen Reife der Halswirbelkörper zu der skelettalen Reife der Hand.

Garcia-Fernandez et al. (1998) untersuchten für eine mexikanische Population, ob die Reifeindikatoren der Halswirbelkörper nach der Methode von Hassel und Farman (1995) mit den Reifeindikatoren der Handröntgenaufnahmen nach Fishman (1982) im Zusammenhang stehen. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zu Hassel und Farman (1995) bei Anwendung der Methode in einer mexikanischen Population.

Kucukkeles et al. (1999) untersuchten die skelettale Reife der Wirbel C2, C3 und C4 anhand des CVMI (cervical vertebrae maturation index) und verglichen diese mit dem SMI (skeletal

maturation index) der Hand von Fishman (1982). Die Ergebnisse zeigten, dass anhand der Halswirbel die Phasen des pubertären Wachstums ebenso gut wie mit der Handmethode einzuschätzen sind. Außerdem gab es hohe Übereinstimmungen bei einer wiederholten Messung unterschiedlicher Betrachter vor und nach der Wachstumsspitze.

Franchi et al. (2000) verglichen die Reife der Halswirbelkörper mit der Körpergröße und dem Unterkieferwachstum. Sie bestätigten die Gültigkeit der Lamparski-Methode und stellten fest, dass der größte Zuwachs der Körperhöhe mit den Phasen 3 und 4 korreliert.

Pancherz und Szyska (2000) untersuchten die Methode nach Hassel und Farman auf deren Validität und Reliabilität. Sie stellten fest, dass die Halswirbelmethode in der Reliabilität mit der Handmethode nach Hägg und Taranger (1980) vergleichbar ist.

Mito et al. (2002) entwickelten einen neuen Index mittels multipler Regression zur Bestimmung des skelettalen Alters von Halswirbelkörpern und bewiesen, dass die skelettale Reifebestimmung anhand der Halswirbel gültig ist.

San Roman et al. (2002) schlugen eine Modifikation der Lamparski-Methode vor, indem sie die anatomischen Veränderungen wie Konkavität, Höhe und Form der Wirbelkörper separat betrachteten und anhand multipler Regressionsgleichung das skettale Alter berechneten.

Baccetti et al. (2002) überprüften in ihrer Studie den CVM-Index von Hassel und Farman (1995). Dabei stellten sie fest, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Phasen CVM1 und CVM2 im CVM-Index besteht. So bildeten sie aus diesen beiden eine Phase und damit war eine neuer Index entstanden.

Mito et al. (2003) bestimmten eine Gleichung zur Vorhersage des Unterkieferwachstumspotentials durch Regressionsanalyse anhand der skelettalen Reife der Halswirbelkörper und dem Wachstum des Unterkiefers. Ihre Probanden waren nur Mädchen mit einer Klasse 1 oder 2 Okklusion.

Grave und Townsend (2003) untersuchten für eine australische Population die verbesserte CVM-Methode nach Baccetti et al. (2002) auf ihre Anwendbarkeit. Außerdem verglichen sie

ihre Ergebnisse mit anderen Populationen. Sie stellten fest, dass die skelettale Reifebestimmung anhand der Halswirbel eine Alternative zur Handröntgenaufnahme darstellt.

Chen et al. (2004) fanden heraus, dass anhand der Halswirbelkörper (C2 und C3) mit einer multiplen Regressionsgleichung die Unterkieferlängenzunahme bestimmt und somit das Unterkieferwachstumspotential geschätzt werden kann.

Chen et al. (2005) veröffentlichten eine Gleichung zur Vorhersage des Unterkieferwachstumspotentials ergänzend zu Mito et al. (2003) für Probanden mit Klasse 3 Okklusion. Außerdem verglichen sie ihre Methode mit Mito et al. (2003).

Baccetti et al. (2005) stellten eine weitere modifizierte Version der CVM-Methode vor, basierend auf den drei Halswirbelkörpern (C2-C4). Anhand einer Longitudinalstudie konnten Baccetti et al. (2005) sechs Phasen der skelettalen Reife der Halswirbelkörper definieren. Anschließend wurde die CVM-Methode verwendet zur Bestimmung des optimalen Behandlungszeitpunktes für die jeweils bestehende Malokklusion.

Flores-Mir et al. (2006) korrelierten die skelettalen Reifestadien der Halswirbelkörper nach der CVM-Methode mit der Handmethode nach Fishman (1982).

Gandini et al. (2006) verglichen die skelettale Reife der Handmethode von Björk und Helm (1967) mit der skelettalen Reife der Halswirbelmethode von Baccetti et al. (2002). Sie fanden hohe Übereinstimmungen zwischen den beiden Reifesystemen.

Uysal et al. (2006) untersuchten für eine türkische Population, ob die Reifeindikatoren der Halswirbelkörper beurteilt nach Hassel und Farman (1995) mit den Reifeindikatoren der Handröntgenaufnahmen nach Björk (1972) und Grave und Brown (1976) im Zusammenhang stehen. Zweitens wurde die Korrelation der beiden Reifesysteme mit dem chronologischen Alter überprüft. Sie stellten fest, dass für die Bestimmung des pupertalen Wachstumsspurtes einer türkischen Population die Reifeindikatoren der Halswirbel vergleichbar mit denen der Hand sind.

1.7 Ziel

In der Literatur gibt es keinen direkten Vergleich der Analyseverfahren: der Atlasmethode nach Greulich und Pyle (1959), der ursprünglichen Halswirbelmethode nach Lamparski (1972) und der später modifizierten Halswirbelmethode nach San Roman et al. (2002). In dieser Arbeit werden die drei verschiedenen Methoden zur Bestimmung der skelettalen Reife vorgestellt und miteinander verglichen.

Bei dem Vergleich der drei unterschiedlichen Analysemethoden zur skelettalen Reifebestimmung gilt es zu überprüfen,

- wie genau das skelettale Alter anhand der Halswirbelmethode gegenüber der Handmethode bestimmt werden kann
- ob die Halswirbelmethoden gültig sind
- wie zuverlässig und reproduzierbar die beiden Halswirbelmethoden durch denselben Betrachter sind und
- ob die Fernröntgenseitenaufnahme die Handröntgenaufnahme ersetzen kann.

2 Material und Methode

2.1 Material

Röntgenbilder, die nicht qualitativ den Aufnahmekriterien in das Patientengut entsprachen, wurden aussortiert. Ebenso verfahren wurde mit Röntgenbildern, bei denen die Wirbelkörper C2-C4 aufgrund des Schilddrüsenschutzes nicht abgebildet waren.

Es konnten 401 Fernröntgenseitenbilder des Kopfes (FRS) und 401 zeitgleiche Handröntgenaufnahmen (HA) von 401 Probanden, 200 weibliche (mittleres Alter: 11,8 Jahre) und 201 männliche (mittleres Alter: 12,3 Jahre), im Alter von 7-18 Jahren ausgewertet werden. Die Aufnahmen wurden dem Patientenarchiv der Kieferorthopädischen Abteilung der Zahnklinik Marburg entnommen. Die Auswertungen von 5 Probanden wurden nicht in den Ergebnisdatensatz (401 Probanden) aufgenommen, da sie Extremwerte zeigten (vgl. Kapitel 2.2.3.2).

Folgende Kriterien für die Aufnahme in die Studie mussten erfüllt sein:

1. Die Probanden sollten im Alter zwischen 7 und 18 Jahre sein.
2. Die Röntgenaufnahmen mussten eine Qualität mit ausreichend hoher Klarheit und gutem Kontrast aufweisen, so dass die Wirbelkörpergrenzen gut beurteilbar waren.
3. Die Wirbelkörper (C) sollten mindestens bis einschließlich C4 vollständig sichtbar sein.
4. Der Zeitraum zwischen den Aufnahmezeitpunkten von FRS und HA durfte nicht mehr als einen Monat betragen.

Die Histogramme in Abbildung 3 und 4 zeigen die Altersverteilung bei männlichen und weiblichen Probanden.

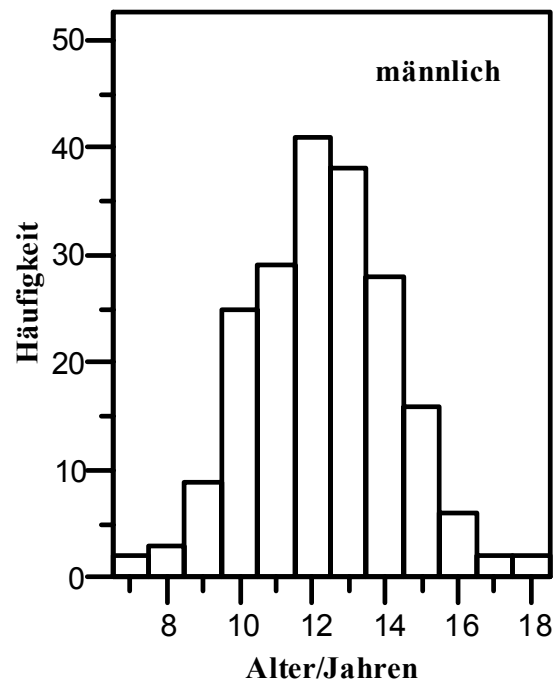


Abbildung 3. Altersverteilung der männlichen Probanden.

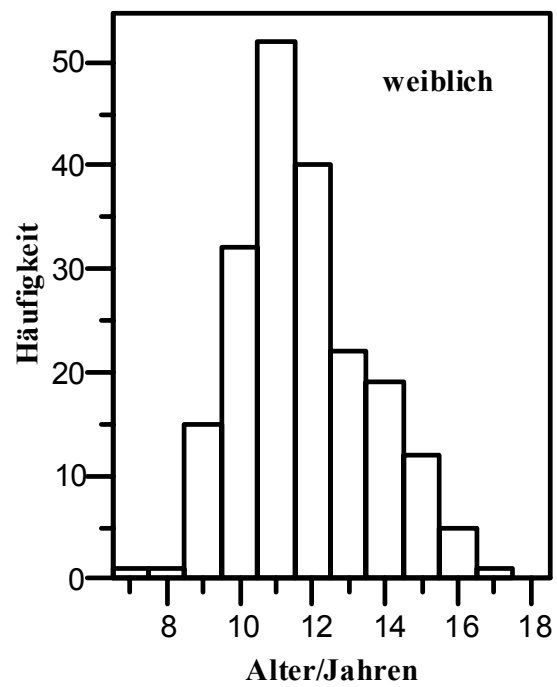


Abbildung 4. Altersverteilung der weiblichen Probanden.

2.2 Methoden

2.2.1 Altersbestimmung und Gruppierung in Altersklassen

Das Alter wurde durch Subtraktion des Geburtsdatums von dem Datum der Fernröntgenseitenaufnahme errechnet. Daraufhin erfolgte die Gruppierung der Alterswerte der Probanden zur einfacheren Darstellung in Altersklassen. So sind beispielsweise Jungen und Mädchen getrennt mit einem Alter zwischen 10,5 bis 11,5 Jahren der Altersklasse 11 zugeordnet. In der gleichen Weise wurde bei den weiteren Alterswerten vorgegangen.

2.2.2 Skelettale Reifebestimmung

Zuerst wurde das FRS mit der modifizierten Methode nach San Roman et al. (2002) untersucht. Anschließend erfolgte die Bewertung der Aufnahmen mittels der von Lamparski (Masterthesis Lamparski 1972, beschrieben in Lamparski und Nanda, 2002) festgelegten Standards. Daraufhin wurde die skelettale Reife der Probanden mit Hilfe der Handröntgenaufnahme (HA) bestimmt und das skelettale Alter mittels dem Atlas nach Greulich und Pyle (1959) abgeleitet. Die Studie erfolgte stets am gleichen Röntgenbildbetrachter durch denselben Beobachter. Dabei wurden die Aufnahmen immer nach dem gleichen Muster aufgelegt und inspiziert.

2.2.2.1 Skelettale Reifebestimmung anhand der Handröntgenaufnahme (HA)

Handmethode nach Greulich und Pyle (1959)

Die skelettale Reife wurde mittels der Atlasmethode nach Greulich und Pyle (1959) bestimmt. Der Atlas zeigt Röntgenaufnahmen der Hand bzw. Handwurzel, die nach Altersgruppe und Geschlecht geordnet sind. Diese Röntgenbilder werden als Normwert anerkannt und als Standardaufnahmen bezeichnet. Die verschiedenen Reifungsstadien des Handskeletts sind in ihnen chronologisch aufsteigend dargestellt. Jeder Standardaufnahme ist ein skelettales Alter in Jahren zugeteilt.

Um die skelettale Reife schneller den Standards im Atlas nach Greulich und Pyle (1959) zuordnen zu können, wurden die Handröntgenaufnahmen (HA) in Anlehnung an Drücke

(2003) zunächst mit der Methode von Grave und Brown (1976) nach charakteristischen Entwicklungs- und Reifeindikatoren gesichtet.

Zuerst wurde nach dem Vorhandensein des ulnaren Sesambeines am metakarpophalangealen Gelenk des Daumens gesucht. War dieses Reifestadium noch nicht erreicht, ist die Handröntgenaufnahme nach der sichtbaren Verknöcherung des Os pisiforme begutachtet worden. Zeigte die Röntgenaufnahme dieses Kriterium nicht, sind Epi- und Diaphyse der mittleren Phalange des Mittelfingers auf gleiche Breite kontrolliert worden. Entsprach das Handskelett nicht dem Reifestadium, wurde überprüft, ob die Epi- und Diaphyse der proximalen Phalange des Zeigefingers gleich breit sind. Traf auch dieser Reifegrad noch nicht zu, so wurden die Handwurzelknochen auf Knochendichte und Knochengröße der einzelnen Elemente untersucht. Nach diesem Schema wurde die HA in der definierten absteigenden Reihenfolge erkundet.

War das ulnare Sesambein am metakarpophalangealen Gelenk des Daumens schon sichtbar, wurde nach fortgeschrittenen Reifeindikatoren gesucht. Zunächst wurde überprüft, ob die Epiphysenlinie der distalen Phalange des Mittelfingers bereits verschmolzen war. Konnte dies nicht festgestellt werden, wurde die mittlere Phalange des dritten Fingers inspiziert, und es wurde untersucht, ob die Umkapselung der Diaphyse von der Epiphyse bereits stattgefunden hat. Bestand die Fusion von Diaphyse und Epiphyse der distalen Phalange des dritten Fingers schon, erfolgte die Begutachtung auf vorhandene Verschmelzung von Epiphyse und Diaphyse der proximalen Phalange des Mittelfingers. Wenn dieses Kriterium und die darauf folgende Synthese von Diaphyse und Epiphyse nicht mehr dem vorliegenden Entwicklungsstand entsprachen, war mit der vollständigen Verknöcherung der Epiphysenlinie am Radius (Ru) der letzte Reifeindikator erreicht (Abbildung 1).

War das zutreffende Reifeindiz der Handskelettentwicklung im Röntgenbild erkannt, konnte die übereinstimmende Standardaufnahme im Atlas nach Greulich und Pyle (1959) schnell gefunden werden. Dabei wurde die Röntgenaufnahme mit dem optisch ähnlichsten Standard sowie dem diesem vorhergehenden und nachfolgenden verglichen. Als letztes erfolgte die Festlegung des skelettalen Alters mittels der Standardaufnahme mit der größten Konformität. Fiel die Entscheidung zwischen zwei Abbildungen schwer, so wurde der Mittelwert der beiden Alterszahlen bestimmt.

2.2.2.2 Skelettale Reifebestimmung anhand der Fernröntgenseitenaufnahmen

2.2.2.2.1 HWS-Methode 1 nach Lamparski (1972)

Lamparski (1972) nutzte die Halswirbelsäule, da er sie als zuverlässigen Entwicklungsindikator ansah und schlug eine neue Methode zur skelettalen Reifebestimmung vor. Er legte eine Reihe von Standards für jedes Geschlecht sowie Alter fest. Die Standards wurden hergeleitet für jede Altersgruppe anhand einer Querschnittsstudie mit Fernröntgenseitenaufnahmen von 69 männlichen und 72 weiblichen Probanden. Er ordnete die FRS einer Altersgruppe nach Geschlecht vom niedrigsten zum höchsten Reifegrad. Die Röntgenaufnahme des Probanden dieser Reihenfolge mit mittlerem Reifegrad wurde als Standard für diese Altersgruppe und dieses Geschlecht festgelegt. Entsprechend wurde bei jeder Altersgruppe von 10–15 Jahren verfahren. Von diesen Standardaufnahmen konnte Lamparski (1972) eine Reihe von Reifeindikatoren auswählen, die das Wachstum und die Entwicklung von Halswirbelkörpern für jedes Alter beschreiben. Diese Standardreifeindikatoren werden für jedes Alter sowie Geschlecht in Schemata dargestellt. Die Standards für Jungen und Mädchen sind gleich. Bei weiblichen Probanden beginnt jedoch die Entwicklung früher. So sind bei Jungen im Alter von 10-15 Jahren die gleichen Reifeindikatoren zu sehen, wie bei Mädchen von 10-13 Jahren. Die Zuverlässigkeit der Standards wurde durch Inter- und Intrabeobachtertests von 25 weiblichen und 25 männlichen Probanden überprüft. Die Gültigkeit der Halswirbelmethode untersuchte Lamparski (1972) mit dem Vergleich der skelettalen Altersbestimmung der Handknochenmethode von Todd (1937).

Bei Anwendung der Methode wurden Probanden auch außerhalb der von Lamparski (Masterthesis Lamparski 1972, beschrieben in Lamparski und Nanda, 2002) festgelegten Altersbegrenzung (10-15 Jahre) einbezogen. Zur Vereinfachung der Auswertung wurden die von Lamparski definierten Altersgruppen (10-15 Jahre) in der vorliegenden Arbeit in Phasen ausgedrückt. So wurde beispielsweise dem Alter, 10 Jahre, die Phase 1 zugeteilt. Die weiteren Jahre 11 bis 15 wurden aufsteigend als Phasen 2 bis 6 benannt. Die Reifestadien der Halswirbel werden in der vorliegenden Arbeit in 6 Phasen gegliedert, graphisch in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt und kurz beschrieben. Die Abbildungen nach Lamparski

(Masterthesis Lamparski 1972, beschrieben in Lamparski und Nanda, 2002) sind lediglich Schemata, welche die Längenzunahme der Wirbelsäule in die Höhe nicht berücksichtigen.

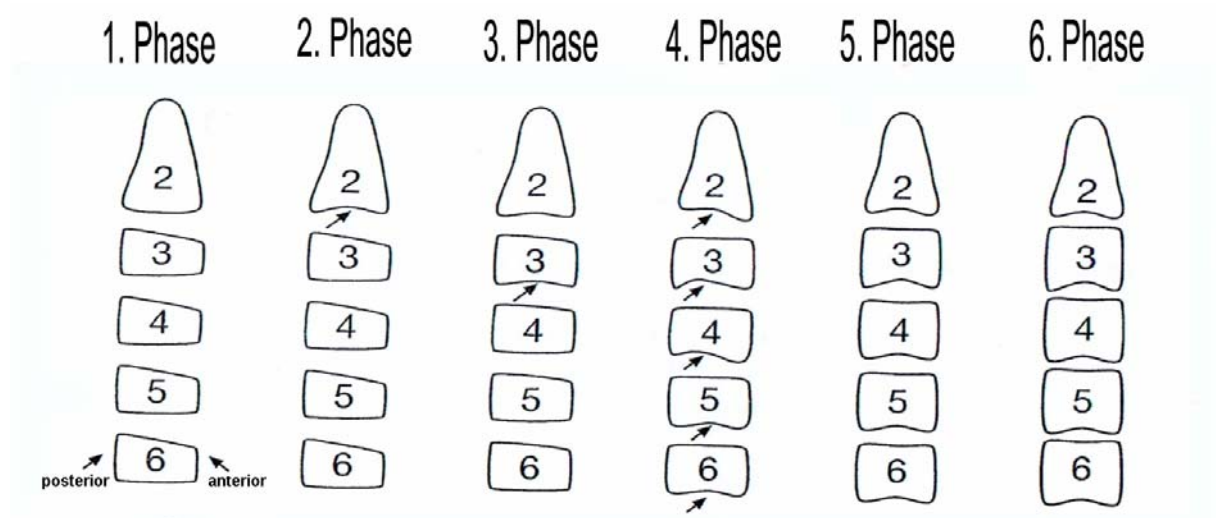


Abbildung 5. Weibliche Standards für die vertebrale skelettale Reife nach Lamparski (1972).

1. Phase- Alle unteren Ränder der Wirbelkörper sind eben. Alle Körper sind deutlich verjüngt von dorsal nach ventral.
2. Phase- Eine Konkavität hat sich entwickelt am unteren Rand des zweiten Wirbels. Die ventrale Wirbelhöhe hat zugenommen.
3. Phase- Eine Konkavität hat sich entwickelt am unteren Rand des dritten Wirbelkörpers. Die übrigen unteren Ränder sind noch eben.
4. Phase- Die Konkavität am dritten Wirbelkörper hat zugenommen und am vierten Wirbelkörper hat sich eine deutliche Konkavität ausgebildet. Konkavitäten am fünften und sechsten beginnen, sich zu formen. Alle Wirbelkörper sind nun rechteckig in ihrer Gestalt.
5. Phase- Die Räume zwischen den Wirbelkörpern sind kleiner. Konkavitäten sind nun eindeutig zu erkennen an allen 6 Körpern. Die Wirbelkörper sind jetzt annähernd quadratisch in der Form.
6. Phase- Alle Wirbelkörper haben vertikal zugenommen und sind nun höher als breit. Alle Konkavitäten haben sich vertieft.

[Deutsche Übersetzung der Phasenbeschreibung in Lamparski und Nanda (2002)]

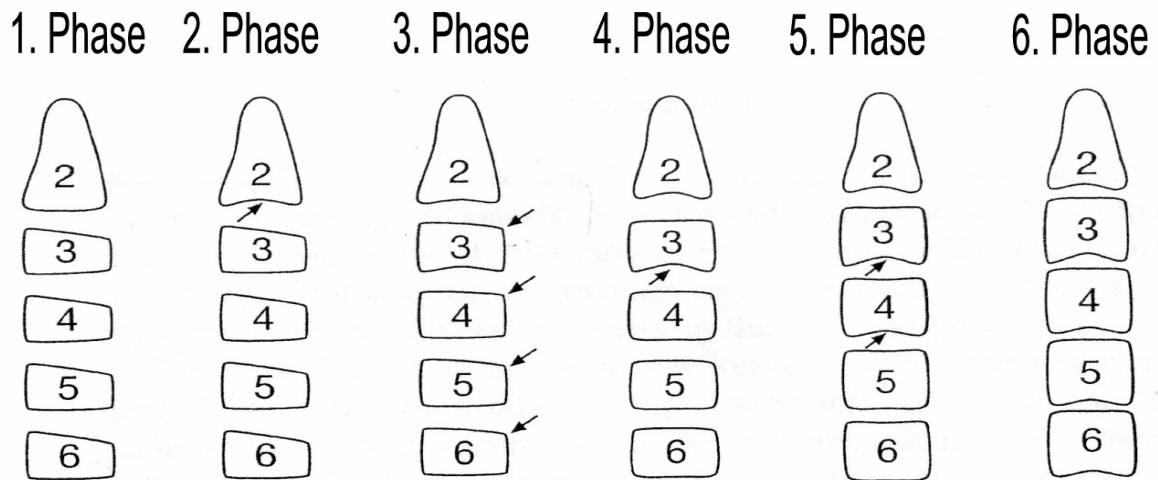


Abbildung 6. Männliche Standards für die vertebrale skelettale Reife nach Lamparski (1972).

1. Phase- Alle unteren Ränder der Wirbelkörper sind eben. Alle Körper sind deutlich von dorsal nach ventral verjüngt.
2. Phase- Eine Konkavität am unteren Rand des zweiten Wirbels hat begonnen sich zu entwickeln.
3. Phase- Die Konkavität vom zweiten Wirbel hat sich vertieft. Die ventrale Wirbelhöhe hat zugenommen.
4. Phase- Eine Konkavität hat sich entwickelt am unteren Rand des dritten Wirbelkörpers. Die ventrale Wirbelkörperhöhe hat weiter zugenommen.
5. Phase- Die Konkavität im dritten Wirbelkörper hat sich vertieft und eine Konkavität im vierten Wirbelkörper hat begonnen, sich zu entwickeln. Alle Wirbelkörper sind nun rechteckig in ihrer Form.
6. Phase- Die Räume zwischen den Wirbelkörpern sind kleiner. Die Konkavität am vierten Wirbelkörper hat sich vertieft und am fünften und sechsten Wirbelkörper entwickeln sich Konkavitäten. Die Körper sind fast quadratisch in ihrer Form.

[Deutsche Übersetzung der Phasenbeschreibung in Lamparski und Nanda (2002)]

In unserer Studie konnten nur die Wirbelkörper C2-C4 betrachtet werden, da C5 und C6 wegen des Schilddrüsenschutzes nicht abgebildet waren. Gab es Schwierigkeiten in der Phasenbestimmung, beispielsweise bei Probanden, bei denen eine Konkavität wie in Phase 5 und eine Form entsprechend Phase 3 vorlag, so wurde der Mittelwert gebildet.

2.2.2.2.2 HWS-Methode 2 nach San Roman et al. (2002)

San Roman et al. (2002) untersuchten die Handröntgenaufnahmen (HA) und Fernröntgeseitenaufnahmen (FRS) von 958 spanischen Kindern (428 männliche und 530 weibliche) im Alter von 5-18 Jahren. Die skelettale Reife der HA wurden mit der Methode nach Grave und Brown (1976) beurteilt. Die Phasenbeschreibungen von Lamparski (1972) sowie Hassel und Farman (1995) wurden verwendet, um die skelettale Reife der Halswirbelkörper zu bestimmen. San Roman et al. (2002) entwickelten eine Modifikation der HWS-Methoden, indem sie die anatomischen Veränderungen am Wirbelkörper separat betrachteten. Die Wirbelkörper wurden hinsichtlich ihrer Konkavität, Höhe und Form getrennt studiert. Sie legten eine Reihe von Entwicklungsphasen für jedes dieser Merkmale fest.

Anhand der folgenden Kriterien wurden die FRS in dieser Studie begutachtet.

Konkavität

- 1. Phase-* Alle Wirbelkörper haben einen ebenen unteren Rand.
- 2. Phase-* Eine Konkavität ist vorhanden im unteren Rand von C2.
- 3. Phase-* Eine Konkavität ist vorhanden im unteren Rand von C3.
- 4. Phase-* Die Konkavitäten in C2 und C3 nehmen zu und eine Konkavität ist vorhanden an C4, C5 und C6
- 5. Phase-* Die Konkavitäten nehmen in allen Wirbelkörpern zu.
- 6. Phase-* Tiefe Konkavitäten sind vorhanden in allen Wirbelkörpern und die unteren Winkel sind abgerundet.

[Deutsche Übersetzung der Phasenbeschreibung in San Roman et al. (2002)]

Eine Konkavität sollte erst dann als solche betrachtet werden, wenn die Entfernung von der Mitte des unteren Randes zur Verbindungslinie der unteren Winkel größer als 1 mm ist. Da in unserer Studie bei vielen Probanden eine deutliche Konkavität zu erkennen war, obwohl die Entfernung von der Mitte des unteren Randes zur Verbindungslinie der unteren Winkel

kleiner als 1mm, wurde dieses Kriterium ausgeschlossen. Außerdem wurde abweichend zu San Roman et al. (2002), wie bei Anwendung der HWS-Methode 2, nur die Wirbelkörper (C2-C4) bewertet. Die Auswertungsbeschreibung von San Roman et al. (2002) zeigt jedoch keinen Unterschied in den Phasen (4-6), d. h. auf die Bewertung der Wirbelkörper 5 und 6 kann verzichtet werden. Somit konnte die Methode für die vorliegende Studie angewendet werden.

Höhe von C3 und C4

1. *Phase*- Die Höhe ist weniger als 80% von der Breite.
2. *Phase*- Die Höhe ist zwischen 80 und 99%.
3. *Phase*- Die Höhe und die Breite sind gleich.
4. *Phase*- Die Höhe ist größer als die Breite.

[Deutsche Übersetzung der Phasenbeschreibung in San Roman et al. (2002)]

In der Methode von San Roman et al. (2002) wurde die Wirbelkörperhöhe in der Mitte des Wirbelkörpers ausgehend von einer Linie verlaufend vom dorso-kaudalen zum ventro-kaudalen Winkel bestimmt. Dabei wurde in der Mitte dieser Linie eine Senkrechte bis zum oberen Wirbelkorperrand eingezeichnet. Anhand der Länge dieser Senkrechten konnte die Wirbelkörperhöhe gemessen werden. Die Breite wurde in der Mitte des Wirbelkörpers bestimmt. Es wurde zuerst die mittlere Höhe des dorsalen Wirbelkorperrandes festgelegt. Anschließend wurde eine Parallele ausgehend von der unteren Linie an diesem Punkt gezeichnet. Die ventrale Begrenzung dieser parallelen Linie bildete der ventrale Wirbelkorperrand. Anhand dieser parallelen Linie konnte die Breite des Wirbelkörpers bestimmt werden (Abbildung 7). Das genaue Ausmessen der Wirbelkörperhöhe und -Breite sowie die Berechnung, der 80 Prozent der Höhe des Wirbelkörpers zur Breite für die Beurteilung der entsprechenden Phase, ist verbunden mit einem großen Zeitaufwand. Dies macht die Anwendung der Methode von San Roman et al. (2002) in der kieferorthopädischen Praxis schwierig. Aus diesen Überlegungen erfolgte die Bestimmung der Phase für das Kriterium Höhe in einer modifizierten Form des von San Roman et al. (2002) beschriebenen Verfahrens. Diese Modifikation zeichnet sich aus durch einfache Handhabung und enorme Zeitersparnis.

In unserer Studie diente eine durchsichtige Folie mit verschiedenen großen abgebildeten Quadraten in den Größen (12; 13; 14; 15; 16; 17 mm) als einfaches Hilfsmittel (Abbildung 9). In jedem dieser Quadrate markierte eine eingezeichnete Linie die „80%-Grenze“, welche 80 Prozent der Höhe des Wirbelkörpers zur Breite darstellen sollte. Die Folie wurde auf die Wirbelkörper aufgelegt (Abbildung 8), das passende Quadrat ausgewählt und die jeweilige Phase des Merkmales „Höhe“ festgelegt. Dabei wurden die Quadrate mit ihrer kaudalen Seite auf die Wirbelkörper vom dorsokaudalen zum ventrokaudalen Winkel aufgelegt und das Quadrat mit der entsprechenden Größe bestimmt (Abbildung 8). So wurde die Breite des Wirbelkörpers festgelegt. Anschließend wurde überprüft an welcher Position sich der obere Wirbelkorperrand innerhalb des Quadrates befand. Damit wurde die Höhe des Wirbelkörpers bestimmt. War beispielhaft der obere Wirbelkorperrand, wie in Abbildung 8, unterhalb der 80%-Grenze, so konnte die Phase 1 festgelegt werden. Befand sich jedoch der obere Wirbelkorperrand oberhalb des Quadrates, so wurde die Phase 4 gewählt. Somit wurde von der Breite am unteren Rand des Wirbelkörpers ausgegangen und nicht wie bei San Roman et al. in der Mitte des Wirbelkörpers.

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen den Unterschied der skelettalen Reifebestimmung des Merkmales Höhe, der ursprünglichen Methode von San Roman et al. (2002) und unserer modifizierten Methode.



Abbildung 7. Methode nach San Roman et al. (2002)

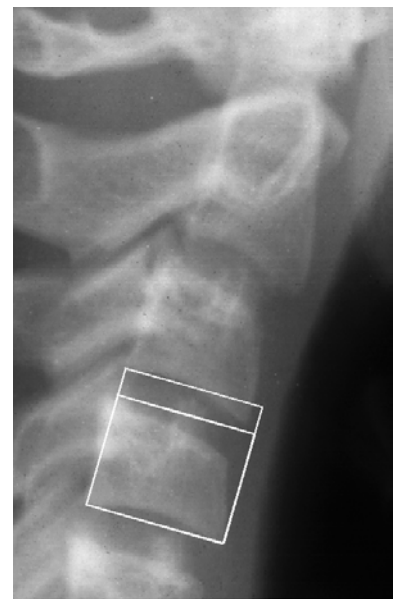


Abbildung 8. unsere Methode (siehe Text)

Die Abbildung 9 zeigt die verschiedenen Quadrate unserer Studie zur Bestimmung der skelettalen Reife des Merkmales Höhe. Die Quadrate in Abbildung 9 sind lediglich Schemata, welche nicht dem exakten Maßstab der Quadrate unserer Studie entsprechen. Die Originalquadrate sind auf einer Folie im Anhang beigelegt.

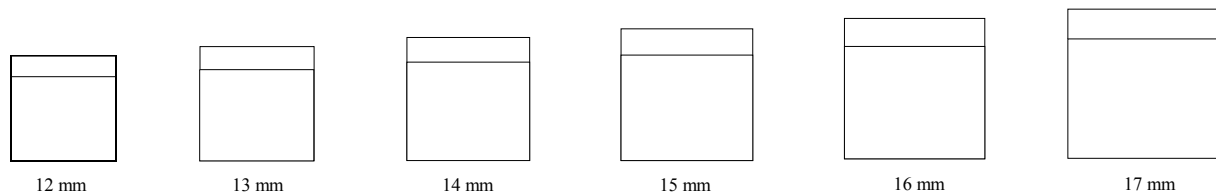


Abbildung 9. Hilfsmittel unserer Studie zur Bestimmung der skelettalen Reife des Merkmales Höhe

Form von C3 und C4

1. *Phase-* C3 und C4 sind von dorsal nach ventral verjüngt und sehen keilförmig aus.
2. *Phase-* C3 ist keilförmig und C4 ist annähernd rechteckig mit Fehlen des oberen - ventralen Winkels.
3. *Phase-* rechteckige Wirbelkörper
4. *Phase-* annähernd quadratische Wirbelkörper
5. *Phase-* quadratische Wirbelkörper
6. *Phase-* rechteckige Wirbelkörper, die höher als breiter sind

[Deutsche Übersetzung der Phasenbeschreibung in San Roman et al. (2002)]

Gedanklich wurden zwei Lineale am oberen und unteren Wirbelkörperrand angelegt. Dabei galt es zu prüfen, ob sie annähernd parallel oder in Form eines Winkels zueinander standen. Somit konnten Rückschlüsse über die Form der Wirbelkörper gezogen werden.

2.2.3 Statistische Methoden

Es sollen die Zusammenhänge zwischen Alter, skelettalem Alter nach Greulich und Pyle (1959) und errechnetem skelettalen Alter nach Lamparski (1972) sowie San Roman et al. (2002) durch Korrelationskoeffizienten quantitativ untersucht werden. Für die statistische

Auswertung wurde das Programm SPSS Version 12. verwendet.

In der vorliegenden Querschnittsstudie ist das Signifikanzniveau α auf 0,05 festgelegt.

2.2.3.1 Intrabeobachter Fehler

Aus dem Datenmaterial von 406 Probanden (1. Messung) wurden 30 nach dem Zufallsprinzip bestimmt und deren Fernröntgenseitenaufnahmen sowie Handröntgenaufnahmen durch denselben Betrachter eine Woche später erneut ausgewertet (2.Messung). Anhand dessen sollte die Zuverlässigkeit, die als Reliabilität bezeichnet wird, durch die Übereinstimmung von Messwerten ermittelt werden.

Die zwei Messungen der 30 Probanden wurden mittels Kreuztabellen verglichen und angeführt.

Außerdem sollte von der ersten auf die zweite Messung überprüft werden, in welcher Phase der HWS-Methoden es die größten Abweichungen gibt.

2.2.3.2 Streudiagramme und Extremwerte

Ein einfaches Mittel zur Darstellung des Zusammenhanges zweier Merkmale ist das Streudiagramm. Es liefert einen ersten Hinweis, ob und wie stark zwei Merkmale zusammenhängen.

Das Streudiagramm diente zur Darstellung der Beziehung des skelettalen Alters der Handmethode gegen das chronologische Alter. Anhand der Grafik wurden Extremwerte, die außerhalb des Streuungsbereiches lagen, ermittelt. Diese Daten wurden erneut beurteilt, damit überprüft werden konnte, ob Fehler bei der Auswertung seitens des Untersuchers auftraten. War jedoch ein Fehler durch den Untersucher ausgeschlossen, wurden diese Extremwerte aus dem Untersuchungsgut aussortiert und nicht in die Statistik einbezogen.

So kam es zum Ausschluss von fünf Probanden aus dem Datenmaterial, die auffällige Messwerte im Bereich des skelettalen Alters nach Greulich und Pyle im Vergleich zum

chronologischen Alter sowie zum Reifegrad in Phasen der HWS-Methoden aufwiesen.

2.2.3.3 Mittelwert und Standardabweichung

Nach Geschlecht getrennt wurde in jeder Phase nach Lamparski für die Variable „Alter“ die gültige Anzahl, der arithmetische Mittelwert, der Medianwert, die Standardabweichung und der Minimum- und Maximumwert bestimmt. Analog wurde bei der HWS-Methode 2 mit jedem anatomischen Kriterium Konkavität, Höhe und Form verfahren.

2.2.3.4 Lineares Modell (Regression)

Die Ermittlung der funktionalen Abhängigkeit verschiedener Variablen wird Regression genannt. Es liegt eine lineare Regression vor, da der Zusammenhang zwischen dem skelettalen Alter der Handmethode und den Phasen der Halswirbelmethoden eine Gerade beschreibt. Eine einfache lineare Beziehung wird mathematisch mit folgender Gleichung beschrieben: $y = a + b * x$, wobei y die abhängige, x die unabhängige Variable, a den Achsenpunkt und b die Steigung der Geraden darstellt. Die Steigung der Geraden wird in der Regressionsrechnung als Regressionskoeffizient bezeichnet.

Das einfache Regressionsmodell wird in dieser Studie für die HWS-Methode 1 mit x (Phasen nach Lamparski) angewendet.

Für die HWS-Methode 2 wird die einfache lineare Regression dahingehend erweitert, dass neben der abhängigen y mehrere unabhängige Variable x_1 , x_2 und x_3 betrachtet werden. Diese Erweiterung wird als multiple lineare Regression bezeichnet und mit folgender Gleichung beschrieben: $y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3$. Dabei werden für y zunächst die Werte des skelettalen Alters nach Greulich und Pyle eingesetzt. Für x_1 werden die bestimmten Phasen der Konkavität, für x_2 die Phasen der Höhe und für x_3 die Phasen der Form eingesetzt. Anhand der unabhängigen Variablen x_1 , x_2 und x_3 sowie der abhängigen Variable y konnten mit dem Statistikprogramm die Regressionskoeffizienten b_1 , b_2 und b_3 sowie b_0 (Konstante) berechnet werden. Die errechneten Regressionskoeffizienten und die bestimmten Phasen jedes Kriteriums wurden in die obige Gleichung eingesetzt und die Variable y , das skelettale Alter der Halswirbelmethode rechnerisch bestimmt.

2.2.3.5 Korrelationsberechnung

Die Korrelation ist ein Maß für die Stärke eines Zusammenhangs zwischen Merkmal X und Y. Für ordinalskalierte Merkmale entsprechend der vorliegenden Arbeit, bei denen die Ausprägungen (Phasen 1-6) geordnet sind, können monotone Zusammenhänge bestimmt werden. Ein monotoner Zusammenhang ist gegeben, wenn mit steigendem hohen Wert des einen Merkmals, die Ausprägung des zweiten Merkmals ebenfalls steigt (positiver Zusammenhang) oder fällt (negativer Zusammenhang).

Die Enge des Zusammenhanges wird durch die Rangkorrelation beschrieben. Ein Maß dafür ist der Rangkorrelationskoeffizient r . Dieser ist eine Zahl zwischen -1 und +1. Die Werte erreichen ± 1 , wenn der Zusammenhang perfekt monoton ist. Kein Zusammenhang liegt bei einem Korrelationskoeffizienten von 0 vor.

In der Untersuchung des Zusammenhanges der Phasen der Halswirbelmethoden mit einem weiteren Parameter wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman angewendet. Die Berechnungen erfolgten nach Geschlecht getrennt in den Variabelkombinationen: skelettales Alter nach Greulich und Pyle und chronologisches Alter mit Phasen nach Lamparski, Konkavität, Höhe sowie Form.

Es wurden weiter die berechneten skelettalen Alter der Halswirbelmethoden (siehe Kapitel 3.4.2) mit dem skelettalen Alter der Handmethode und dem chronologischem Alter geschlechtsspezifisch korreliert. Für die Bestimmung dieses Zusammenhanges dienten die Rangkorrelation nach Spearman.

In einem groben Raster lassen sich Korrelationen nach Fahrmeir et al. (2004) einordnen durch:

"schwache Korrelation" $r < 0,5$

"mittlere Korrelation" $0,5 \leq r < 0,8$

"hohe Korrelation" $r \geq 0,8$

2.2.3.6 Histogramm

Aufgrund der hohen Zahl von Messwerten entsprechend des Untersuchungsgutes eignete sich das Histogramm als übersichtliche Vergleichsmöglichkeit. Es diente zur Darstellung der Abweichungen in Jahren der skelettalen Alterswerte der beiden HWS-Methoden (Lamparski, 1972; San Roman et al., 2002) von der Handmethode (Greulich und Pyle, 1959).

3 Ergebnisse

3.1 Methodenfehler

3.1.1 Intrabeobachter Fehler

Die Ergebnisse der Doppelbestimmung, der zufällig ausgewählten 30 Probanden, wurden anhand von Kreuztabellen verglichen. Für jede Bestimmungsmethode (Greulich und Pyle, 1959; Lamparski, 1972; San Roman et al., 2002) werden die Übereinstimmungen bzw. Abweichungen in separaten Tabellen 1-3 als Prozentwerte angegeben.

Tabelle 1: Intrabeobachter Fehler für das skelettales Alter nach Greulich und Pyle (GP)
Übereinstimmung und Abweichung in % relativ zur Anzahl der Probanden. Die Werte in Klammern entsprechen der Anzahl der Übereinstimmungen.

	Anzahl	Übereinstimmung	6 Monate Abweichung	7 Monate Abweichung	10 Monate Abweichung	12 Monate Abweichung
GP	30	43% (13)	40% (12)	3% (1)	3% (1)	10% (3)

Tabelle 2: Intrabeobachter Fehler für HWS-Methode 1
Übereinstimmung und Abweichung in % relativ zur Anzahl der Probanden. Die Werte in Klammern entsprechen der Anzahl der Übereinstimmungen.

	Anzahl	Übereinstimmung	1 Stufe Abweichung	2 Stufen Abweichung
Lamparski	30	60%(18)	33% (10)	7% (2)

Tabelle 3: Intrabeobachter Fehler für die Phasen jedes Merkmals der HWS-Methode 2
Übereinstimmung und Abweichung in % relativ zur Anzahl der Probanden. Die Werte in den Klammern entsprechen der Anzahl der Übereinstimmungen.

	Anzahl	Übereinstimmung	1 Stufe Abweichung	2 Stufen Abweichung	3 Stufen Abweichung
Konkav	30	67% (20)	27% (8)	6% (2)	0% (0)
Höhe	30	87% (26)	13% (4)	0% (0)	0% (0)
Form	30	80% (24)	17% (5)	0% (0)	3% (1)

Beim Vergleich der beiden Messungen der Handmethode beträgt die Abweichung nicht mehr als ein Jahr. Das Merkmal "Höhe" hat in Tabelle 3 die höchste Übereinstimmung. Die Übereinstimmungen von Lamparski liegen unter denen der HWS-Methode 2.

3.1.2 Kreuztabellen zur Bestimmung des Intrabeobachter Fehlers

Die Abweichungen von jeder Phase 1-6, der ersten Messung auf die zweite Messung aller 30 Probanden, der HWS-Methoden sind in Kreuztabellen verglichen worden (Tabellen 4-8). Die Ergebnisse sollen zeigen, in welcher Phase es die größten Abweichungen gibt. Die Abweichungen der HWS-Methode 1 bei männlichen und weiblichen Probanden werden getrennt aufgeführt (Tabelle 4 und 5), da die Standards nach Lamparski (1972), die separat nach Geschlecht beschrieben sind, für die Phasenbestimmung in der vorliegenden Arbeit angewendet worden.

Tabelle 4: Beurteilung der HWS-Methode 1. Männlicher Probanden.

Lamparski / männlich		2. Durchsicht						Gesamt
	Phase	1	2	3	4	5	6	
1. Durchsicht	1	3	1	0	0	0	0	4
	2	1	0	1	1	0	0	3
	3	0	0	1	0	0	0	1
	4	0	0	0	0	1	0	1
	5	0	0	0	1	2	1	4
	6	0	0	0	0	0	2	2
Gesamt		4	1	2	2	3	3	15

Tabelle 5: Beurteilung der HWS-Methode 1. Weiblicher Probanden.

Lamparski / weiblich		2. Durchsicht				Gesamt
	Phase	1	3	4	5	
1. Durchsicht	1	1	0	0	0	1
	2	0	2	1	0	3
	3	0	4	1	0	5
	4	0	0	4	0	4
	5	0	0	1	1	2
Gesamt		1	6	7	1	15

Tabelle 6: Beurteilung der HWS-Methode 2 des Merkmales Konkavität.

Konkavität		2. Durchsicht					Gesamt
	Phase	1	2	3	4	5	
1. Durchsicht	1	4	1	0	0	0	5
	2	1	3	2	1	0	7
	3	0	0	4	2	0	6
	4	0	0	1	6	1	8
	5	0	0	0	0	3	3
	6	0	0	0	1	0	1
Gesamt		5	4	7	10	4	30

Tabelle 7: Beurteilung der HWS-Methode 2 des Merkmales Höhe.

Höhe		2. Durchsicht			Gesamt
	Phase	1	2	3	
1. Durchsicht	1	15	0	0	15
	2	3	6	1	10
	3	0	0	5	5
Gesamt		18	6	6	30

Tabelle 8: Beurteilung der HWS-Methode 2 des Merkmales Form.

Form		2. Durchsicht					Gesamt
	Phase	1	2	3	4	5	
1. Durchsicht	1	10	3	0	1	0	14
	2	0	10	1	0	0	11
	4	0	0	0	1	1	2
	5	0	0	0	0	3	3
Gesamt		10	13	1	2	4	30

Die Untersuchung der Ergebnisse der HWS-Methode 1 bei Jungen zeigt die größte Abweichung in den Phasen 2 und 4. Bei den Mädchen ist dies die Phase 2.

3.2 Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und dem nach der Atlasmethode von Greulich und Pyle (GP) bestimmten skelettalen Alter

Die Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter und dem skelettalen Alter der Handröntgenaufnahmen (HA) männlicher und weiblicher Probanden.

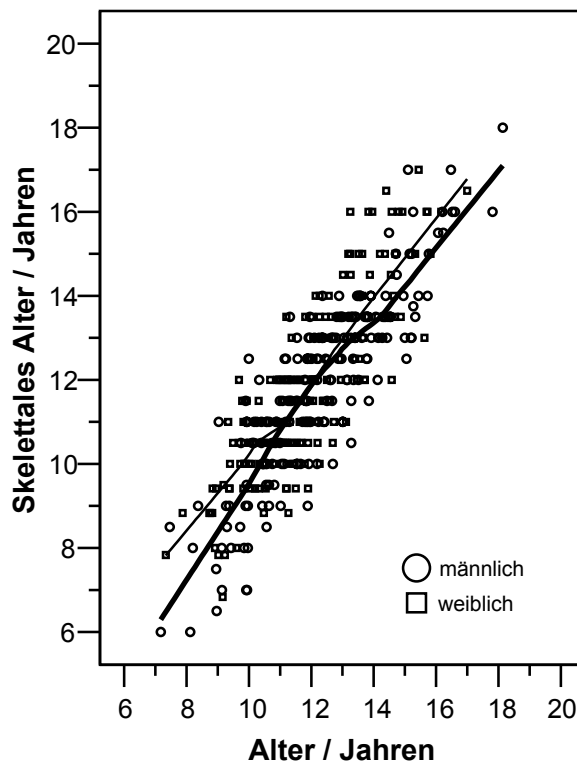


Abbildung 10. Skelettale Alter der Handmethode (GP) in Jahren gegen das Alter in Jahren. Ausgleichskurve nach Loess. (breite Linie: männliche Probanden, schmale Linie: weibliche Probanden)

In das Streudiagramm wurde für männliche und weibliche Probanden jeweils eine Kurve nach Loess gelegt, die den Zusammenhang der beiden Parameter darstellen sollte. Das Streudiagramm in Abbildung 10 zeigt bei steigenden chronologischen Alterswerten auch einen Anstieg des skelettalen Alters der Handröntgenmethode. Es sind keine Extremwerte außerhalb des Streubereiches vorhanden.

3.3 Mittleres Alter der Probanden in den einzelnen Reifephasen

Für die beiden Halswirbelmethoden (Lamparski, 1972, HWS1) und San Roman et al., 2002, HWS2) wurden separat nach Geschlecht der Mittelwert (MW), der Medianwert (Median), die Standardabweichung (SD) des chronologischen Alters, die gültige Anzahl (N), sowie Minimum (Min)- und Maximumwert (Max), der in der jeweiligen Phase befindlichen Probanden, berechnet und in den Tabellen 9 bis 12 aufgeführt.

Die Werte für die HWS-Methode 1 nach Lamparski sind in der Tabelle 9 und die Werte für die HWS-Methode 2 für jedes Merkmal nach San Roman et al. (2002) sind in den Tabellen 10-12 aufgeführt.

Tabelle 9: Gültige Anzahl, MW, Median, SD, Min und Max der Alterswerte männlicher und weiblicher Probanden pro Phase der **HWS-Methode 1** in Jahren

	N		MW		Median		SD		Min		Max	
Phase	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
1	41	25	10,78	10,23	10,64	10,20	1,6	1,15	7,17	7,33	14,43	12,04
2	38	45	11,12	10,81	10,93	10,68	1,42	1,04	8,12	8,73	14,54	13,11
3	15	42	12,57	11,06	12,69	11,09	1,17	1,21	10,25	7,88	14,46	13,71
4	41	50	12,50	12,22	12,67	12,05	1,38	1,34	9,30	9,33	15,19	15,63
5	50	33	13,28	13,99	13,36	14,15	1,67	1,11	9,72	12,03	17,81	16,17
6	16	5	15,29	14,85	15,46	14,58	1,56	1,55	11,56	13,02	18,14	17,00

Tabelle 10: Gültige Anzahl, MW, Median, SD, Min und Max der Alterswerte männlicher und weiblicher Probanden pro Phase des Merkmals **Konkavität** in Jahren

Konkavität	N		MW		Median		SD		Min		Max	
Phase	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
1	41	26	10,78	10,24	10,64	10,26	1,60	1,13	7,17	7,33	14,43	12,04
2	46	45	11,44	10,86	11,35	10,81	1,51	1,08	8,12	8,73	14,54	13,11
3	47	42	12,43	11,01	12,60	11,05	1,36	1,18	9,30	7,88	15,19	13,71
4	50	49	13,29	12,21	13,41	12,06	1,66	1,32	9,72	9,33	17,81	15,63
5	13	23	14,67	13,84	14,74	13,83	1,47	1,10	11,56	12,03	16,61	16,17
6	4	15	16,72	14,63	16,34	14,55	0,96	1,07	16,07	12,88	18,14	17,00

Tabelle 11: Gültige Anzahl, MW, Median, SD, Min und Max der Alterswerte männlicher und weiblicher Probanden pro Phase des Merkmals **Höhe** in Jahren

Höhe	N		MW		Median		SD		Min		Max	
Phase	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
1	135	80	11,57	10,72	11,66	10,77	1,64	1,20	7,17	7,33	15,21	13,71
2	49	80	13,21	11,82	13,26	11,66	1,43	1,51	9,93	7,88	16,23	15,82
3	16	36	15,57	13,56	15,33	13,63	1,32	1,37	13,58	10,04	18,14	16,17
4	1	4	16,20	15,31	16,20	15,15		1,34	16,20	13,95	16,20	17,00

Tabelle 12: Gültige Anzahl, MW, Median, SD, Min und Max der Alterswerte männlicher und weiblicher Probanden pro Phase des Merkmals **Form** in Jahren

Form	N		MW		Median		SD		Min		Max	
Phase	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
1	104	70	11,55	10,70	11,54	10,77	1,68	1,19	7,17	7,33	15,21	13,71
2	52	64	12,18	11,35	12,06	11,24	1,69	1,31	8,12	7,88	15,73	14,87
3	25	23	13,12	12,42	13,20	12,07	1,10	1,47	10,33	9,39	15,33	15,63
4	10	15	15,15	13,10	15,05	13,25	1,21	1,60	13,58	10,04	17,81	15,82
5	9	24	16,07	13,95	16,07	14,18	1,03	1,19	14,71	12,03	18,14	16,17
6	1	4	16,20	15,31	16,20	15,15		1,34	16,20	13,95	16,20	17,00

Die Mittelwerte und Mediane nehmen in den Tabellen 9-12 mit steigender Phase bei den HWS-Methoden 1 und 2 zu. Eine Ausnahme ist bei männlichen Probanden beim Mittel- und Medianwert der 4. Phase bei der HWS-Methode 1 zu sehen.

3.4 Statistische Berechnungen

In dem folgendem Teil der Berechnungen und Abbildungen wurden die Werte der Probanden der HWS-Methoden 1 und 2 aus den obigen Mittelwertsberechnungen und Diagrammen nicht einbezogen, bei denen die Gesamtzahl der Probanden nach Geschlecht getrennt in einer Phase kleiner 6 war. (siehe Tabellen 9-12) Die Werte hätten aufgrund ihrer geringen Anzahl das Korrelationsergebnis verfälscht. So wurden von 401 Probanden 9 aussortiert. Die Daten von 392 Probanden (197 männliche, 195 weibliche) konnten für folgende statistischen Berechnungen und Abbildungen verwendet werden.

3.4.1 Lineares Modell (Regression)

Die einfache lineare Regression ist durch $y = a + b * x$ und die multiple lineare Regression durch $y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3$ definiert. Dabei sind für die HWS-Methoden 1 und 2 y (skelettale Alter), x (Phasen nach Lamparski), x_1 (Phasen von „Konkavität“), x_2 (Phasen von „Höhe“), x_3 (Phasen von „Form“) und b, b_0, b_1, \dots, b_3 Regressionskoeffizienten. Zur Bestimmung des skelettalen Alters für die Daten der HWS-Methode 1 und 2 mussten zuerst die Regressionskoeffizienten berechnet werden.

Bei der HWS-Methode 1 mit x (Phasen nach „Lamparski“) als unabhängige Variable sowie der abhängigen Variable y (skelettales Alter nach Greulich und Pyle) konnte nach einfacher Regressionsgleichung der Anstieg (Regressionskoeffizient b) und der Achsenpunkt (a , Konstante) bestimmt werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: berechnete Regressionskoeffizienten der HWS-Methode 1, geschlechtsspezifisch

	männlicher	P	weiblicher	P
	Koeffizient		Koeffizient	
(Konstante)	9,088	0,00	7,896	0,00
Lamparski	0,826	0,00	1,203	0,00

Die Regressionskoeffizienten der HWS-Methode 1 aus Tabelle 13 wurden in die folgenden Gleichungen:

weiblich: $y = 7,896 + 1,203 * x$

männlich: $y = 9,088 + 0,826 * x$ eingesetzt und das skelettale Alter in Jahren berechnet.

Anhand der unabhängigen Variablen x_1, x_2 und x_3 sowie der abhängigen Variable y (skelettales Alter nach Greulich und Pyle) konnten mit dem Statistikprogramm SPSS für die HWS-Methode 2 der Anstieg (Regressionskoeffizient b_1, b_2, b_3) und der Achsenpunkt (b_0 , Konstante) in Tabelle 14 berechnet werden. Außerdem wurde für jeden Koeffizienten die Signifikanz in Tabelle 14 angegeben.

Tabelle 14: berechnete Regressionskoeffizienten der HWS-Methode 2, geschlechtsspezifisch

	männlicher	P	weiblicher	P
	Koeffizient		Koeffizient	
(Konstante)	8,033	0,00	7,854	0,00
Konkavität	0,729	0,00	0,741	0,00
Höhe	1,026	0,00	0,436	0,02
Form	0,202	0,19	0,298	0,01

Die Ergebnisse aus Tabelle 14 wurden in die multiple Regressionsgleichung eingesetzt. So konnte die Variable y, das skelettale Alter in Jahren der HWS-Methode 2, für Probanden

weiblich: $y = 7,854 + 0,741 * x_1 + 0,436 * x_2 + 0,298 * x_3$

männlich: $y = 8,033 + 0,729 * x_1 + 1,026 * x_2 + 0,202 * x_3$ berechnet werden.

Der Regressionskoeffizient für das Merkmal Form männlicher Probanden ist statistisch nicht signifikant.

3.4.2 Korrelation

3.4.2.1 Korrelation für die Phasen der skelettalen Reife der HWS-Methoden

Die Korrelation wurde nach Geschlecht getrennt in den Variablenkombinationen: skelettales Alter nach Greulich und Pyle mit den Phasen der HWS-Methode 1 und mit den Phasen der HWS-Methode 2 für Konkavität, Höhe sowie Form einzeln berechnet. Außerdem wurde vom chronologischen Alter mit den Phasen der HWS-Methode (1&2) die Korrelation bestimmt.

Tabelle 15: Rangkorrelation nach Spearman des skelettalen Alter nach Greulich und Pyle (GP) mit chronologischem Alter

Geschlecht	Alter
männlich	skelettales Alter (GP) 0,85
weiblich	skelettales Alter (GP) 0,83

Tabelle 16: Rangkorrelation nach Spearman der Phasen in HWS-Methode 1 mit chronologischem Alter und skelettalem Alter nach Greulich und Pyle

Geschlecht		Alter	skelettales Alter (GP)
männlich	Phase nach Lamparski	0,60	0,69
weiblich	Phase nach Lamparski	0,68	0,82

Die Korrelationskoeffizienten für das skelettale Alter bei der Methode nach Lamparski zeigen eine hohe Korrelation bei den Mädchen und eine mittlere bei Jungen. Die Korrelation mit dem skelettalen Alter ist deutlich höher als mit dem chronologischem Alter.

Tabelle 17: Rangkorrelation nach Spearman der Phasen in HWS-Methode 2 mit chronologischem Alter und skelettalem Alter nach Greulich und Pyle

Geschlecht	Merkmal	Alter	skelettales Alter (GP)
männlich	Konkavität	0,58	0,68
	Höhe	0,53	0,65
	Form	0,47	0,57
weiblich	Konkavität	0,68	0,82
	Höhe	0,58	0,72
	Form	0,61	0,72

Die Ergebnisse zeigen generell höhere Korrelationskoeffizienten bei den weiblichen Probanden. Den höchsten Zusammenhang hat das Merkmal "Konkavität" bei beiden Geschlechtern, wobei bei Mädchen die Korrelation mit dem skelettalem Alter als "hoch" einzustufen ist. Die Rangkorrelation nach Spearman ist in beiden Methoden bei dem skelettalen Alter höher als bei dem chronologischen Alter.

3.4.2.2 Korrelation für die berechneten skelettalen Alter der HWS-Methoden

Das skelettales Alter der Handmethode wurde mit dem berechneten skelettalen Alter der HWS-Methode 2 nach Geschlecht getrennt korreliert (Tabelle 18). Die zusätzliche Korrelation des chronologischen Alters mit dem berechneten Alter der HWS-Methode 2 dient als Vergleich.

Die Korrelationskoeffizienten der berechneten Alterswerte der HWS-Methode 2 und des skelettalen Alters der Handmethode sind höher als bei der Lamparskimethode. Die Mädchen zeigen in beiden HWS-Methoden eine höhere Korrelation als Jungen.

Tabelle 18: Rangkorrelation nach Spearman der berechneten skelettalen Alterswerte der HWS-Methode 2 mit chronologischem Alter und skelettalem Alter nach Greulich und Pyle

Geschlecht	Merkmal	Alter	skelettales Alter (GP)
männlich	berechnetes Alter	0,63	0,75
	HWS-Methode 2		
weiblich	berechnetes Alter	0,69	0,84
	HWS-Methode 2		

3.5 Vergleich der skelettalen Alterswerte der HWS-Methoden mit der Handmethode

Mit dem Vergleich der beiden Methoden soll die Gültigkeit der HWS-Methoden überprüft werden.

Die bestimmten skelettalen Alterswerte in Jahren der Handmethode (Greulich und Pyle, 1959) konnten nicht mit den Phasen der skelettalen Reife der HWS-Methoden (Lamparski, 1972; San Roman et al., 2002) verglichen werden. Dafür mussten die Phasen der HWS-Methoden in ein skelettales Alter in Jahren umgewandelt werden. Dies wurde, wie im Kapitel 3.4.1 beschrieben, durchgeführt. Somit konnte das skelettale Alter in Jahren der HWS-Methoden ermittelt werden. Folgend wurden die Differenzen des skelettalen Alters der HWS-Methoden von dem skelettalen Alter der Handmethode gebildet.

Die Häufigkeiten der Differenzen in Jahren des errechneten skelettalen Alters der HWS-Methode 1 und 2 von dem skelettalen Alter der Handmethode nach Greulich und Pyle (1959) werden in den Abbildungen 11 -14 geschlechtsspezifisch grafisch dargestellt.

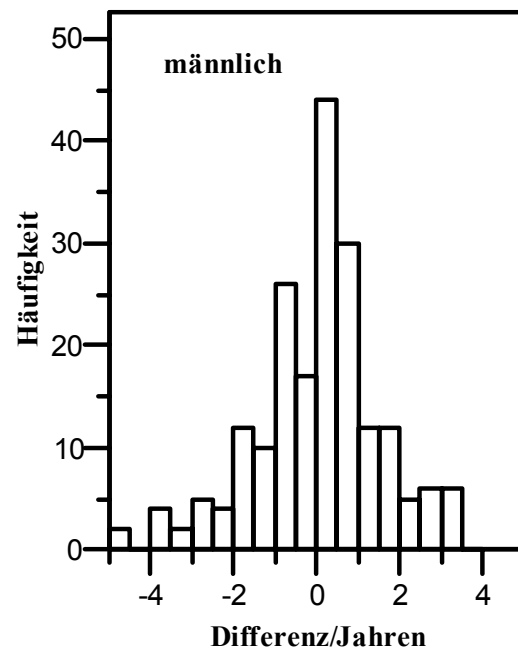


Abbildung 11. Häufigkeit der Differenzen des skelettalen Alters der Handmethode (GP) und des errechneten skelettalen Alters der **HWS-Methode 1** in Jahren. Männlicher Probanden. (MW:0,00; SD:1,54)

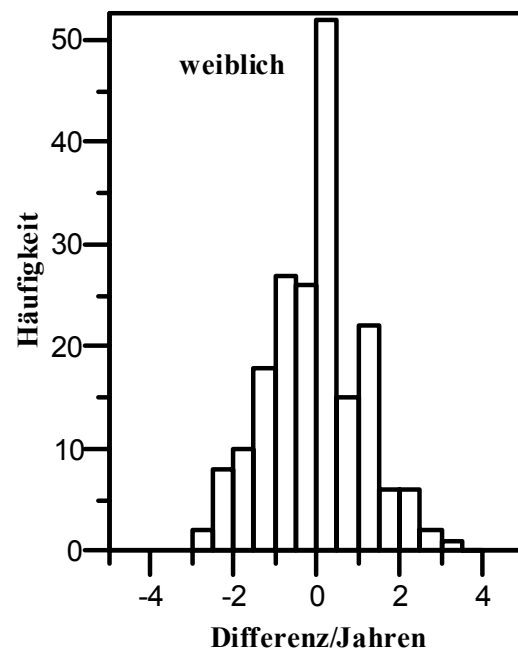


Abbildung 12. Häufigkeit der Differenzen des skelettalen Alters der Handmethode (GP) und des errechneten skelettalen Alters der **HWS-Methode 1** in Jahren. Weiblicher Probanden. (MW:0,00; SD:1,11)

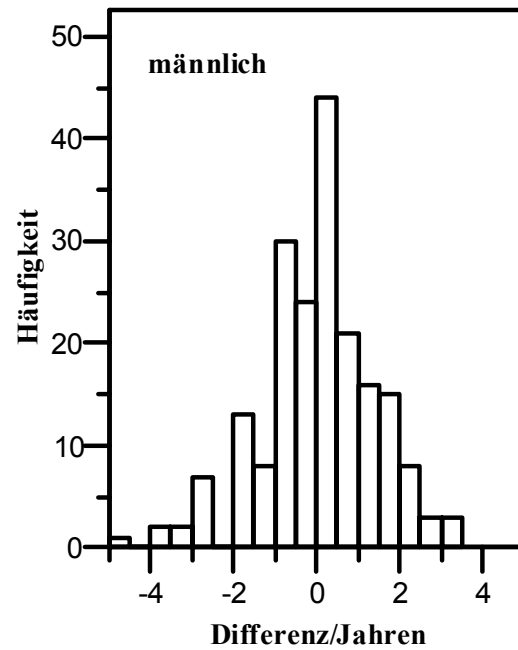


Abbildung 13. Häufigkeit der Differenzen des skelettalen Alters der Handmethode (GP) und des errechneten skelettalen Alters der **HWS-Methode 2** in Jahren. Männlicher Probanden. (MW:0,00; SD:1,39)

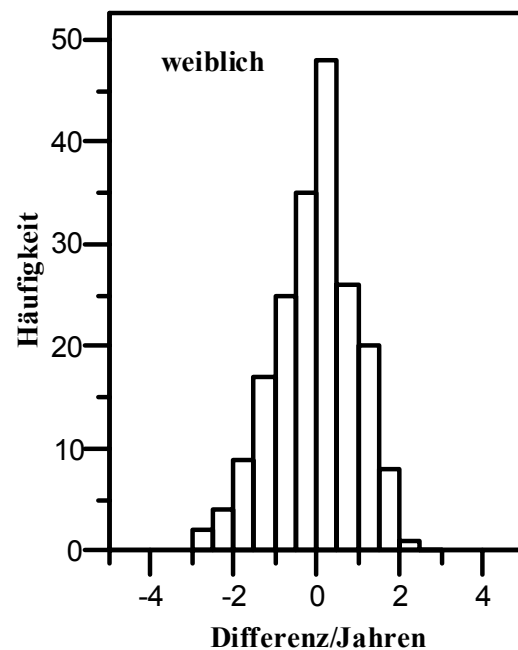


Abbildung 14. Häufigkeit der Differenzen des skelettalen Alters der Handmethode (GP) und des errechneten skelettalen Alters der **HWS-Methode 2** in Jahren. Weiblicher Probanden. (MW:0,00; SD:0,99)

3.5.1 Mittelwert und Standardabweichung

Die Tabelle 19 zeigt Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) der Differenzen des skelettalen Alters der beiden Halswirbelmethoden (HWS) vom skelettalen Alter nach Greulich und Pyle (GP) männlicher und weiblicher Probanden in Jahren. Außerdem ist die Differenz des Alters vom skelettalem Alter als MW und SD zum Vergleich angegeben.

Tabelle 19: Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) in Jahren männlicher (m) sowie weiblicher (w) Probanden für die Differenz des skelettalen Alters der HWS-Methode 1 und 2 vom skelettalen Alter nach Greulich und Pyle (GP) und vom chronologischen Alter (Alter)

Differenz	MW		SD	
	m	w	m	w
GP-HWS1	0,00	0,00	1,54	1,11
GP-HWS2	0,00	0,00	1,39	0,99
Alter-HWS1	0,41	0,05	1,53	1,30
Alter-HWS2	0,41	0,05	1,44	1,25
GP-Alter	-0,41	-0,05	1,08	1,08

Die Mittelwerte (MW) für Jungen sowie Mädchen, der Differenz vom skelettalen Alter GP und der HWS-Methoden sind geringer als vom chronologischen Alter und den HWS-Methoden. Die SD ist allgemein bei den Differenzen mit der HWS-Methode 1 höher als mit der HWS-Methode 2. Die Standardabweichung bei Jungen ist größer als bei den Mädchen.

4 Diskussion

Das chronologische Alter lässt nur bedingt Rückschlüsse auf das Wachstum eines Kindes zu. Mit der skelettalen Reife kann man in der Kieferorthopädie das Wachstum genauer einschätzen. Dieses Wissen ist für die Wahl des optimalen Behandlungsbeginns entscheidend und für den Abschluss der Behandlung von Bedeutung. Zur Bestimmung der skelettalen Reife eines Kindes dient in der Kieferorthopädie die Handmethode. Um die damit verbundene zusätzliche Röntgenaufnahme zu vermeiden, gewannen in den letzten Jahren Untersuchungen der Halswirbelmethode an Popularität. In vielen Studien (Lamparski (1972); O'Reilly und Yanniello (1988); Hassel und Farman (1995); Garcia-Fernandez (1998); Franchi et al. (2000); San Roman et al. (2002); Uysal et al. (2006); usw) wurden statistisch signifikante Korrelationen gefunden.

Für die drei Reifsysteme: chronologisches Alter, skelettales Alter der Handmethode sowie skelettales Alter der zwei HWS-Methoden wurde die Gültigkeit und die Zuverlässigkeit überprüft. In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse ausgewertet.

4.1 Methodenfehler

4.1.1 Intrabeobachter Fehler

Die Bestimmung der skelettalen Reife anhand von HA wird in der kieferorthopädischen Praxis angewendet. Um festzustellen, wie zuverlässig die Handmethode nach Greulich und Pyle (1959) ist und im Vergleich dazu wie groß die Übereinstimmungen zweier wiederholter Messungen der HWS-Methoden anhand des FRS sind, wurden Fehlermessungen durchgeführt.

Eine für die Kieferorthopädie wichtige vergleichende kephalometrische Analyse von Fernröntgenseitenbildern (FRS) eines Patienten erfordert gleichbleibende und reproduzierbare Bedingungen. Um eine möglichst exakte Einstellung des Schädels zu gewährleisten, wird der Kopf des Patienten in einem Kopfhalter (Cephalostat) fixiert. Entscheidend ist auch der Film-Objekt-Abstand zur Erzielung einer optimalen Abbildungsqualität. Dieser sollte so klein wie möglich gehalten werden, um Verzeichnungen zu verringern.

Die Reliabilität der drei Methoden wurde durch eine zweite Messung von 30 Probanden aus dem bereits untersuchten Datenmaterial bei gleichen Bedingungen überprüft. Zuerst erfolgte die Untersuchung der FRS mit der HWS-Methode 2 und danach mit HWS-Methode 1. Anschließend wurde das skelettale Alter der Handröntgenaufnahmen mit der Methode nach Greulich und Pyle bestimmt. Bei Vergleich der beiden Untersuchungen liegt in der HWS-Methode 1 eine 60% Übereinstimmung vor (Tabelle 2). Der Intrabeobachter Fehler der HWS-Methode 2 zeigt übereinstimmende Werte für jede der drei anatomischen Veränderungen von: 67% „Konkavität“, 87% „Höhe“ und 80% „Form“ (Tabelle 3). Die Handmethode hat mit 43% zunächst die geringste Übereinstimmung (Tabelle 1). Jedoch die Abweichungen von 6 Monaten (40%), 7 Monaten (3%) und 10 Monaten (3%) sind nur sehr gering. Fiel die Entscheidung zwischen zwei abgebildeten Standards nicht leicht, so wurde der Mittelwert der beiden Alterswerte dieser Standards gebildet. Der Altersabstand der Standards im Atlas nach Greulich und Pyle (1959) betrug im Durchschnitt ungefähr ein Jahr. Dies erklärt die Abweichung von 6-10 Monaten und bestätigt die Zuverlässigkeit der Handmethode.

Beim Vergleich der Übereinstimmung der beiden HWS-Methoden zeigte die Lamparskimethode eine niedrigere Übereinstimmung (60%). Ein möglicher Grund dafür kann sein: Lamparski (1972) beschreibt die anatomischen Veränderungen der Wirbelkörper wie Konkavität, Höhe und Form zusammenhängend. Diese drei anatomischen Kriterien entwickeln sich bei einigen Probanden nicht identisch wie in der Beschreibung nach Lamparski (1972). Der Untersucher ist unsicher, welchem Kriterium er die höchste Priorität geben und wonach er die jeweilige Phase bestimmen soll. So kann es zur Abweichung von 1 Stufe (33%) und 2 Stufen (7%) gekommen sein.

Die Überprüfung der Reliabilität der drei anatomischen Kriterien der HWS-Methode 2 zeigte eine hohe Übereinstimmung bei Höhe (87%) und Form (80%). Die Übereinstimmungen bei Konkavität (67%) waren niedriger. Somit ist die Anzahl der gleichartigen Bewertungen eher gering. Eine Erklärung liegt in der Schwierigkeit der Einschätzung des Entwicklungsstandes der Konkavität, worauf in den folgenden Abschnitten noch einmal genauer eingegangen wird. Entscheidend für das Kriterium „Konkavität“ ist jedoch, dass die Abweichungen von 2 Stufen nur in 6% der Fälle auftreten und sie das Maximum nicht übereinstimmender Bewertungen darstellen. Das Kriterium „Höhe“ zeigt mit 87 % die höchsten Übereinstimmungen. Die Bestimmung der Phase für das Kriterium Höhe erfolgte in einer modifizierten Form des von

San Roman et al. (2002) beschriebenen Verfahrens (siehe Kapitel 2.2.2.2.2 Höhe). Es diente zur Einschätzung der jeweiligen Phase eine durchsichtige Folie mit verschiedenen großen abgebildeten Quadraten als Hilfsmittel. Der Untersucher konnte somit auch in einer Wiederholungsmessung das Röntgenbild unter einfachen, schnellen und reproduzierbaren Bedingungen betrachten. Die hohen Übereinstimmungen bestätigen die Anwendbarkeit unserer modifizierten Methode.

Die Reliabilitäten der HWS-Methoden dieser Arbeit sind nicht so gut wie bei Panherz und Szyska (2000). Panherz und Szyska (2000) bildeten aus vier Messungen einen Mittelwert pro Röntgenbild und verglichen diesen mit jeder dieser vier Messungen. Danach wurde die Häufigkeit der übereinstimmenden Beurteilungen berechnet. Durch das komplexe System der Intraobserver Fehlerberechnung von Panherz und Szyska (2000) sind ihre Ergebnisse nur schlecht vergleichbar mit den in dieser Studie bestimmten Übereinstimmungsraten. Die Zuverlässigkeit unserer Studie ist auch geringer als bei Hassel und Farman (1995). Jedoch untersuchten auch Panherz und Szyska (2000) die Methode nach Hassel und Farman und fanden heraus, dass nur wenige Röntgenbilder (20) verwendet wurden. Ebenso konnten sie die Vorgehensweise in der Fehlermessung von Hassel und Farman (1995) nicht genau nachvollziehen.

Die Tabellen 4-8 im Kapitel 3.1.2 stellen dar, wie groß die Abweichungen in jeder Phase der HWS-Methoden von der ersten auf die zweite Messung sind. Es wurden in der HWS-Methode 1 die Geschlechter getrennt betrachtet. Dabei wiesen die Phase 2 bei Mädchen sowie die Phasen 2 und 4 bei Jungen die größte Abweichung auf. Der Grund für die Abweichungen in diesen Phasen könnte in der nicht separat beschriebenen Veränderung der drei anatomischen Kriterien zu finden sein. So dass in diesen Fällen die Entscheidung nicht leicht fiel. Bei den Jungen ist die Phase 2 auch schwer von der Phase 3 zu unterscheiden. Ob eine Konkavität bei diesen Phasen entsteht oder vertieft, ist eine subjektive Betrachtungsweise, wenn keine Röntgenbilder von verschiedenen Jahren eines Probanden zum Vergleich vorliegen. In der HWS-Methode 2 gibt es die größten Abweichungen in Phase 6 bei „Konkavität“, in Phase 2 bei „Höhe“ und in Phase 4 bei „Form“. In Phase 6 bei „Konkavität“ war es schwierig zu beurteilen, ob die Winkel abgerundet sind oder nicht. Ebenso fiel es beim Kriterium „Form“ nicht leicht zu entscheiden, ob der Wirbelkörper nun nahezu quadratisch (Phase 3) oder quadratisch (Phase 4) ist

4.2 Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und skelettalem Alter der Handmethode nach Greulich und Pyle

Zunächst wurde die Relation des chronologischen Alters zum skelettalem Alter (GP) überprüft. In die Studie wurden auch Probanden aufgenommen, bei denen die maximale Differenz zwischen den Aufnahmedaten von FRS und HA höchstens 1 Monat betragen durfte. Das chronologische Alter wurde bei allen Probanden mittels des FRS-Aufnahmedatums berechnet. Der Zeitraum von 1 Monat ist im Hinblick auf die Entwicklung des Knochens unbedeutend klein. Aus diesem Grund wurde die Differenz bis zu einem Monat von FRS und HA als übereinstimmend angesehen.

Die Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter der Probanden unserer Studie und dem bestimmten skelettalen Alter nach Greulich und Pyle. In unserer Population handelte es sich um Jungen und Mädchen, die von 1966-1988 im Raum Hessen geboren wurden. Alle Kinder in der Arbeit von Greulich und Pyle (1959) waren weiße von 1917-1942 geborene US-Amerikaner. Das skelettale Alter beider Populationen unterscheidet sich nur wenig. Der zu einem bestimmten chronologischen Alter gehörende Wert des skelettalen Alters (Abbildung 10) ist bei männlichen Probanden fast über den ganzen Altersbereich kleiner als der Wert des chronologischen Alters (Bsp.: chronologisches Alter von 9 Jahren mit einem zugehörigen skeletten Alter von 8,5 Jahren.) Im Alter von 7 bis 10 Jahren ist das skelettale Alter ungefähr 6 Monate zurück. Zwischen 10 und 11 Jahren nimmt diese Differenz ab. Das Alter ist mit dem skelettalen Alter im Zeitraum von 11 bis 12 Jahren identisch. Ab 12 Jahren verlangsamt die Skelettreifung in unserer Population. Bei einem Alter von 13-14 Jahren ist das skelettale Alter ungefähr ein halbes Jahr zurück. Ab dem 15. Lebensjahr vergrößert sich die Differenz, jedoch wird dabei ein Jahr nicht überschritten. Bei Mädchen liegt das skelettale Alter von 7 bis 10 Jahren ungefähr ein halbes Jahr über dem chronologischen Alter. Mit 11 Jahren sind beide Werte fast identisch. Ab 12 Jahren entspricht das skelettale Alter dem chronologischen Alter. Beim Vergleich der Geschlechter unserer Population sind Mädchen im Alter von 7-10 Jahren und 13-17 den Jungen voraus. Nach dem 10. Lebensjahr verkleinert sich die Differenz der skelettalen Alter der Geschlechter. Im Alter von 11-12 Jahren sind bei Jungen sowie Mädchen beide Populationen identisch. Im folgenden Jahr ist bei Jungen das skelettale Alter zum chronologischen Alter ungefähr ein halbes Jahr zurück, wobei bei Mädchen die Vergleichsalter identisch sind. In den darauffolgenden Jahren ist bei Mädchen die Knochenreifung konstant zum Fortschreiten des chronologischen Alters.

Jedoch bei den Jungen liegt nun das skelettale Alter ungefähr ein halbes Jahr hinter dem Alter. Die Differenz des skelettalen Alters beider Populationen überschreitet nie ein Jahr. Damit entspricht das skelettale Alter unserer Population dem der Population von Greulich und Pyle (1959).

Der Vergleich unserer Ergebnisse mit einer ähnlichen Studie von Drücke (2003) zeigt Unterschiede und Gemeinsamkeiten. In der Arbeit von Drücke (2003) wurde getrennt nach Geschlecht der Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD) des skelettalen Alter der Handmethode, der in der jeweiligen Altersgruppe befindlichen Probanden, berechnet. Es wurden Probanden mit der Altersklasse von 8-16 Jahren einbezogen. In unserer Arbeit gibt es Altersklassen von 7-18 Jahren. Die Altersklassen 8 und 16 Jahre unser Arbeit weisen eine zu geringe Probandenzahl auf. So konnten nur die Altersklassen von 9-15 Jahren der beiden Studien direkt miteinander verglichen werden. Dafür wurden in unserer Arbeit ebenso die Mittelwerte des skelettalen Alters, der in der jeweiligen Altersgruppe befindlichen Probanden, bestimmt (Tabelle 20).

Die Werte aus beiden Studien für die Atlasmethode nach Greulich und Pyle (1959) sind in Tabelle 20 und Abbildungen 15 sowie 16 vergleichend aufgeführt.

Tabelle 20: Anzahl, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) pro Altersklasse für das skelettale Alter nach Greulich und Pyle dieser Studie sowie von Drücke (2003). Männliche und weibliche Probanden.

Alters- klasse	Skelettales Alter (GP) dieser Studie						Skelettales Alter (GP) Drücke (2003)					
	N		MW		SD		N		MW		SD	
	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
9	9	15	8,28	9,04	1,33	1,09	52	74	8,98	8,85	1,06	1,02
10	25	32	9,92	10,39	1,44	0,85	90	114	9,80	9,92	1,12	1,08
11	29	52	10,67	10,95	1,13	0,99	95	117	10,65	10,68	1,18	0,84
12	41	40	11,79	11,77	1,16	1,12	118	99	11,69	11,64	1,05	0,95
13	38	22	12,63	13,02	0,98	1,44	93	94	12,65	13,17	0,81	1,32
14	28	19	13,36	14,00	0,79	1,36	60	47	13,58	14,15	0,80	1,20
15	16	12	14,14	14,79	1,21	1,39	21	30	14,64	15,18	1,35	1,31

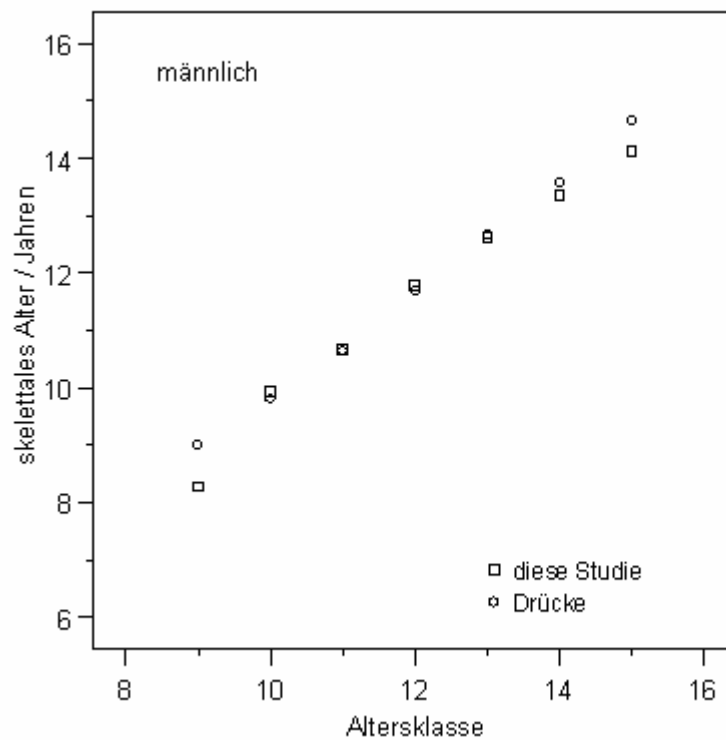


Abbildung 15. Mittelwerte beider Studien des skelettalen Alters der Handmethode in Jahren gegen die Altersklasse in Jahren männlicher Probanden (□: unsere Studie, ○: Drücke, 2003).

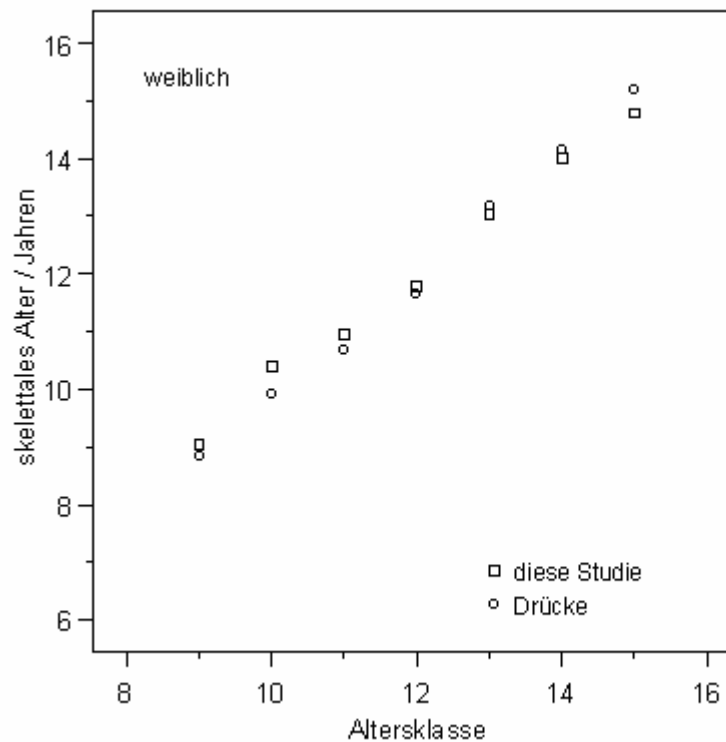


Abbildung 16. Mittelwerte beider Studien des skelettalen Alters der Handmethode in Jahren gegen die Altersklasse in Jahren weiblicher Probanden.(□: unsere Studie, ○: Drücke, 2003).

In beiden Studien sind die Mädchen fast im gesamten Untersuchungszeitraum den Jungen in der Skelettreifung voraus. Ausnahmen gibt es in beiden Studien in der Altersklasse von 12 Jahren und zusätzlich bei Drücke (2003) von 9 Jahren. Die Diagramme in Abbildung 15 und 16 zeigen bei Jungen und Mädchen fast vollkommene Übereinstimmungen. Lediglich bei Jungen in den Altersklassen 9 und 15 sowie bei den Mädchen in den Altersklassen 10, 11 und 15 gibt es Abweichungen, die jedoch nur ungefähr ein halbes Jahr betragen.

Es liegt in beiden Studien ein fast linearer Zusammenhang zwischen dem skelettalem Alter und dem chronologischem Alter im Untersuchungszeitraum von 9-15 Jahren vor, obwohl die Ergebnisse von Drücke (2003) auf einer viel größeren Probandenzahl basieren. Das heißt, das bestimmte mittlere skelettale Alter entspricht fast dem chronologischen Alter in beiden Studien. Diese Feststellung bestätigt erstens die Ergebnisse der Dissertation von Drücke (2003) und zweitens die Gültigkeit des Atlas nach Greulich und Pyle (1959) für unsere Probanden in Marburg. Interessant ist, dass die Daten unserer untersuchten Population nahezu identisch sein müssen mit denen von Greulich und Pyle (1959) in der von 1921 bis 1942 erfolgten Untersuchung in den USA.

4.3 Zusammenhang zwischen chronologischem Alter und Phasen der skelettalen Reife der HWS-Methoden

Für die beiden Halswirbelmethoden wurde nach Geschlecht getrennt der MW, Median, SD, N, Min und Max, der in der jeweiligen Phase (1-6) befindlichen Alterswerte, gebildet (siehe Tabellen 9-12). Bei den HWS-Methoden nehmen die MW, Mediane, Min und Max mit steigender Phase zu. Eine Ausnahme ist bei der HWS-Methode 1 (Tabelle 9) in Phase 3 bei Jungen zu sehen. Die Mittelwerte und Mediane in Phase 4 sind kleiner als in Phase 3. Der Grund dafür ist in der Untersuchungsstichprobe der männlicher Probanden zu suchen, bei denen eine Vielzahl in der Phase 3 befindlichen Probanden ein höheres chronologisches Alter aufweisen als durchschnittlich erwartet. Die Ergebnisse zeigen jedoch bis auf diese Ausnahme einen linearen Zusammenhang zwischen dem steigendem Alter und der Einordnung in eine höhere Entwicklungsphase. Dies verdeutlicht, dass es sich bei der Skelettentwicklung der Halswirbelkörper ebenso wie bei der Handmethode um einen fortschreitenden Prozess handelt.

4.4 Korrelation der Reifsysteme skelettales Alter, chronologisches Alter und skelettale Reife

In unserer Studie wurden die Zusammenhänge zwischen dem chronologischen Alter, dem skelettalen Alter bestimmt mit der Atlasmethode (Greulich und Pyle, 1959), den Reifephasen der HWS-Methoden (Lamparski, 1927; San Roman et al., 2002) und dem berechneten skelettalen Alter der beiden HWS-Methoden durch Korrelationskoeffizienten quantitativ untersucht und tabellarisch (Tabellen 15-18) dargestellt.

Es gibt eine statistische Abhängigkeit zwischen diesen Parametern auf dem Niveau $\alpha \leq 0,05$.

Es sollte untersucht werden, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter und der skelettalen Reife der Halswirbelkörper sowie der Hand besteht. Dafür wurden zuerst die verschiedenen Reifsysteme miteinander korreliert (Tabellen 15-18). Bei Korrelation der skelettalen Reifephasen der HWS-Methode 1 mit dem chronologischen Alter (männlich $r = 0,60$; weiblich $r = 0,68$) gibt es kleinere Werte als bei der HWS-Methode 1 mit dem skelettalen Alter der Handmethode (männlich $r = 0,69$; weiblich $r = 0,82$). Dies ist ebenso bei der Korrelation der Phasen der drei anatomischen Kriterien der HWS-Methode 2 mit dem chronologischen Alter (männlich: Konkavität $r = 0,58$, Höhe $r = 0,53$, Form $r = 0,47$; weiblich: Konkavität $r = 0,68$, Höhe $r = 0,58$, Form $r = 0,61$) gegenüber der HWS-Methode 2 mit dem skelettalen Alter (männlich: Konkavität $r = 0,68$, Höhe $r = 0,65$, Form $r = 0,57$; weiblich: Konkavität $r = 0,82$, Höhe $r = 0,72$, Form $r = 0,72$) (Tabelle 17). Auch die Korrelationskoeffizienten der berechneten skelettalen Alterswerte der HWS-Methode 2 zum chronologischem Alter (männlich $r = 0,63$; weiblich $r = 0,69$) sind kleiner als zum skelettalen Alter der Hand (männlich $r = 0,75$; weiblich $r = 0,84$) (Tabelle 18). Dies weist auf einen stärkeren statistischen Zusammenhang zwischen dem skelettalen Alter der Handmethode und der skelettalen Reife, bestimmt anhand der Halswirbel, hin. Bis auf die Korrelation des skelettalen Alters der Handmethode zum chronologischen Alter weisen Mädchen bei den Korrelationen der verschiedenen Reifsysteme gegenüber Jungen eine höhere Korrelation auf. (Tabellen 15-18). Bei Mädchen sind die Korrelationen zwischen skelettalem Alter der Handmethode mit Konkavität ($r = 0,82$), Höhe ($r = 0,72$) sowie Form ($r = 0,72$) sogar als "hoch" einzustufen. Ebenso "hoch" ist der Korrelationskoeffizient für weiblichen Probanden ($r = 0,82$) bei Lamparski mit dem skelettalen Alter. Bei Jungen wurden niedrigere

Korrelationskoeffizienten zwischen skelettalen Alter der Handmethode und Lamparski ($r = 0,69$) sowie für die Merkmale Konkavität ($r = 0,68$), Höhe ($r = 0,65$) und Form ($r = 0,57$) gefunden. Bezüglich des Geschlechtes stellten Lamparski (1972), Caltabiano et al. (1990) und San Roman et al. (2002) und Uysal et al. (2006) übereinstimmend mit unserer Studie fest, dass die Halswirbelmethode zuverlässiger bei Mädchen als bei Jungen ist. Die Korrelationskoeffizienten für das skelettale Alter der Hand mit dem chronologischen Alter sind mit $r = 0,85$ für männliche und $r = 0,83$ für weibliche Probanden als „hoch“ einzustufen. Die Korrelationsergebnisse von Uysal et al. (2006) ($r = 0,82$ männlich; $r = 0,86$ weiblich) zeigen ähnlich hohe Werte.

Den höchsten Zusammenhang hat wie bei San Roman et al. (2002) das anatomische Kriterium "Konkavität". Je weiter sich eine Einziehung der Wirbelkörper entwickelt hatte, desto weiter war die Skelettreifung fortgeschritten. Lamparski (1972) und Hassel und Farman (1995) erkannten ebenfalls den engen Zusammenhang der Veränderungen dieses Kriteriums mit der Skelettreifung. Jedoch ist die exakte Zuordnung in eine Phase anhand dieses Merkmales bei beiden Halswirbelmethoden nicht immer möglich. Lamparski (1972) macht in seiner Phasenbeschreibung bei männlichen Probanden einen Unterschied zwischen einer sich entwickelten und einer vertieften „Konkavität“. Bei einer Querschnittsstudie wie bei Lamparski (1972) sowie dieser Arbeit ist jedoch der Vergleich mit einer vorherigen Röntgenaufnahme des gleichen Probanden nicht gegeben und damit das Stadium der Entwicklung der „Konkavität“ nicht exakt einschätzbar. San Roman et al. (2002) betrachtete eine Konkavität sogar erst als solche, wenn die Entfernung von der Mitte des unteren Randes zur Verbindungslinie der unter Winkel größer 1mm war. Jedoch die Größe des Kopfskelettes variierte auf den Röntgenaufnahmen und in einigen Fällen war eine deutliche Konkavität bei weniger als 1mm zu erkennen. So wurde in der vorliegenden Studie nach dieser Überlegung das Kriterium für eine „Konkavität“ größer 1mm nicht berücksichtigt.

Beim anatomischen Kriterium „Höhe“ gibt es etwas niedrigere Korrelationswerte. Trotzdem ist zu erkennen, dass mit dem Fortschreiten der Skelettreifung die Wirbelkörperhöhe zunimmt. Im Unterschied zu San Roman et al. (2002) weist diese Arbeit für das Kriterium Höhe einen höheren Korrelationswert auf (Tabelle 21). Die Korrelationen dieser Studie zwischen dem skelettalen Alter der Handmethode (GP) und den drei anatomischen Kriterien der Halswirbelkörper der HWS-Methode 2 sind bis auf das Merkmal Höhe bei Mädchen

niedriger als die in der Originalarbeit von San Roman et al. (2002). Die Abweichungen der Korrelationsergebnisse können folgende Ursachen haben. Zum einen verweisen San Roman et al. (2002) in ihrer Studie auf verschiedene Faktoren, wie Druck, körperliche Position und Krankheit, welche die Wirbelkörperhöhe beeinflussen können. Die Bestimmung der Phase für das Kriterium Höhe erfolgte in dieser Studie in einer leicht modifizierten Form des bei San Roman et al. (2002) beschriebenen Verfahrens. In der Methode von San Roman et al. (2002) wurde die Wirbelkörperhöhe in der Mitte des Wirbelkörpers ausgehend von einer Linie verlaufend vom dorso-kaudalen zum ventro-kaudalen Winkel (unterer Rand) bestimmt. Die Breite wurde ebenfalls in der Mitte des Wirbelkörpers bestimmt. In unserer Studie dienten verschiedene Quadrate (13; 14; 15; 16; 17 mm) mit eingezeichneter „80% Grenze“ auf einer durchsichtigen Folie als Hilfsmittel. Dabei wurde die Breite am unteren Rand des Wirbelkörpers gemessen. Diese Abweichung in der Beurteilung der Wirbelkörper könnte die leicht abweichenden Korrelationswerte erklären. Die Einschätzung des Merkmales Höhe anhand der verschiedenen Quadrate ist jedoch zeitlich vorteilhafter und unsere Korrelationsergebnisse sowie die Übereinstimmungen der Wiederholungsmessung sprechen ebenso dafür.

Tabelle 21: Korrelationswerte aus dieser Studie und der Studie von San Roman et al. (2002) mit der Zuhilfenahme des Handskeletts ermittelten skelettalen Alters (Greulich und Pyle).

Geschlecht		diese Studie	San Roman et al.
	Methode	(Greulich und Pyle)	(Grave und Brown)
männlich	HWS 1	0,69	0,69
	HWS 2	0,75	0,79
	Konkavität	0,68	0,75
	Höhe	0,65	0,60
	Form	0,57	0,67
weiblich	HWS 1	0,82	0,79
	HWS 2	0,84	0,85
	Konkavität	0,82	0,82
	Höhe	0,72	0,70
	Form	0,72	0,74

Die Änderung der Form der Halswirbel während der Skelettreifung wurde in zahlreichen

Untersuchungen nachgewiesen und auch in unserer Studie noch einmal bestätigt. Die Korrelationskoeffizienten des Merkmales Form zeigen vor allem bei Jungen eine größere Abweichung zur Studie von San Roman et al. (2002).

Die größten Korrelationswerte wurden zwischen dem berechneten skelettalen Alter der HWS-Methode 2 (San Roman et al., 2002) und der Handmethode (GP) gefunden (Tabelle 21). Eine „hohe“ Korrelation liegt dabei bei weiblichen Probanden mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,84$ vor. Bei männlichen Probanden ist dieser mit $r = 0,75$ niedriger. Die Korrelationskoeffizienten der Lamparskimethode sind (männlich: $r = 0,69$ und weiblich: $r = 0,82$) kleiner. Die Korrelationsergebnisse von San Roman et al. (2002), der die Lamparskimethode (HWS 1) in Relation zu der Handmethode von Grave und Brown (1976) untersuchte, sind bei Jungen identisch und bei Mädchen etwas niedriger im Vergleich zu unserer Studie (Tabelle 21). San Roman (2002) verweist in seiner Studie bei Anwendung der Lamparskimethode auf niedrigere Korrelationen gegenüber den berichteten Ergebnissen der Originalarbeit von Lamparski (1972). Dieser Unterschied kann durch das unterschiedliche Alter der Probanden erklärt werden. In der Originalarbeit von Lamparski (1972) wurden nur Kinder zwischen 10-15 Jahren aufgenommen. Jedoch Jungen mit 15 Jahren haben noch ein Wachstumspotential und die Höhe sowie Form der Wirbelkörper entsprechen nicht einem ausgewachsenem Mann (Hellsing, 1991). In die vorliegende Studie wurden Probanden im Alter von 7-18 Jahren einbezogen. Ein weiterer Grund ist die separate, ausführlichere Beschreibung jedes einzelnen anatomischen Kriteriums der HWS-Methode 2. Bei der HWS-Methode 1 wurden die anatomischen Veränderungen der Halswirbel nicht getrennt betrachtet. Es gab zum Beispiel Schwierigkeiten in der Phasenbestimmung einiger Probanden, bei denen eine Konkavität wie in Phase 5 und eine Form entsprechend Phase 3 vorlag. In solchen Fällen wurde dann die Mitte als Phase 4 bestimmt. Unsere Ergebnisse bestätigen somit die Aussage von San Roman et al. (2002), dass Lamparskis Klassifikation unvollständig und nicht so gut für männliche Probanden anwendbar ist. Außerdem wurden in beiden Studien Probanden außerhalb von 10-15 Jahren in den Patientendatensatz aufgenommen.

Die Korrelationsergebnisse der berechneten skelettalen Alter von San Roman et al. (2002) sind etwas höher im Vergleich zu unserer Studie (Tabelle 21). In der Studie von San Roman et al. (2002) wurde aus einem größeren Untersuchungsgut das Datenmaterial gesammelt. Außerdem wurden Probanden im Alter von 5-18 Jahren aufgenommen. Weiter verwendete

San Roman et al. (2002) zur skelettalen Altersbestimmung der Handröntgenaufnahmen die Methode nach Grave und Brown (1976). Unsere Handwurzelaufnahmen wurden zunächst auch mit der Methode von Grave und Brown (1976) nach charakteristischen Entwicklungs- und Reifeindikatoren gesichtet. Danach wurde jedoch anhand dieser Reifeindikatoren im Atlas nach Greulich und Pyle (1959) die optisch ähnlichste Standardaufnahme gefunden und das entsprechende Alter abgeleitet. Der Vergleich der Korrelationsergebnisse dieser beiden Studien zeigt jedoch nur kleine Abweichungen.

Flores-Mir et al. (2006) stellten in ihrer Literatursuche fest, dass die Korrelationswerte der skelettalen Reife bestimmt anhand von Handröntgenaufnahmen und mittels Halswirbelkörpern in einigen Arbeiten sehr variabel von 0,45 bis 0,97 waren. Sie führten dies auf die Größe des Datenmaterials, das Geschlecht und die verschiedenen Untersuchungsmethoden zurück. Wir stimmen mit Flores-Mir et al. (2006) überein, dass bei dem Vergleich der Ergebnisse von verschiedenen Studien die gleichen Bedingungen vorliegen sollten. Es muss erstens geprüft werden, ob die untersuchte Probandenanzahl- und art ähnlich sind. Zweiten sollte es sich um ähnliche Methoden handeln. Drittens ist auf die Anwendung von einheitlichen Korrelationsverfahren zu achten. Zum Vergleich verschiedener Studien dient Tabelle 22 (Seite 50).

Der Vergleich der Korrelationsergebnisse der verschiedenen Reifesysteme unserer Studie mit Uysal et al. (2006), die ähnliche Probandenzahlen aufweisen, zeigt große Übereinstimmungen (Tabelle 22). Vor allem besteht dies bei der Relation des skelettalen Alters der Hand zum skelettalen Alter der Halswirbelkörper sowie des skelettalen Alters der Hand zum chronologischen Alter. Bemerkenswert ist dabei, dass die Probanden von Uysal et al. (2006) aus einer türkische Population stammen. Schon Garcia- Fernandez et al. (1998) untersuchten für eine mexikanische Population die Zuverlässigkeit der Halswirbelmethode. Sie fanden keine signifikanten Unterschiede bei Anwendung der Methode im Vergleich zur Handmethode. Für die Bestimmung der skelettalen Reife anhand der Halswirbel bedeutet dies eine Einsetzbarkeit auch in anderen Populationen.

Tabelle 22: Korrelationswerte und Probandenzahlen (männlicher /weiblicher) verschiedener Studien zur Bestimmung der skelettalen Reife der Halswirbelkörper mit Hilfe verschiedenen Handröntgenaufnahmen

Studien	Probandenzahl (m / w)	Korrelation (m / w)	Hand- / Halswirbelmethoden
Mito et al. (2002)	66 (0/66)	-0,87	Tanner und Whitehouse(TW2)(1983)/ neue Methode
San Roman et al (2002)	958(428/530)	0,79/0,85	Grave und Brown (1976)/ neue HWS-Methode
Flores-Mir et al. (2006)	79(27/52)	0,72	Fishman (2000)/ Bacetti et al. (2002) CVM
Uysal et al. (2006)	503(213/290)	0,78/0,88	Grave und Brown (1976)/ Hassel und Farman (1995) CVMI
unsere Studie	401(201/200)	0,75/0,84	Greulich und Pyle (1959)/ San Roman et al. (2002)

Die meisten der Autoren fanden statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Handmethode und den HWS-Methoden (Lamparski (1972); O'Reilly und Yanniello (1988); Hassel und Farman (1995); Garcia-Fernandez (1998); Franchi et al. (2000); San Roman et al. (2002); Uysal et al. (2006)). Jedoch es gibt auch einige Studien (Mitani und Sato, 1992; Nanda, 1999), die diese Thematik als kritisch bewerten. In der Studie von Mitani und Sato (1992) wurde gezeigt, dass verschiedene Teile des Körpers sich in dem Zeitpunkt und dem Ausmaß des pubertären Wachstumsschubs unterscheiden. So kann Wachstum von verschiedenen Teilen des menschlichen Körper nicht so gut miteinander korreliert werden. Nanda (1999) lehnt die Ansicht ab, die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der skelettalen Reife gegeneinander als austauschbar zu betrachten, da es nur ungenügende Übereinstimmungen gibt. Jede der verschiedenen Reifemessungen sei in sich variabel (Nanda, 1999).

Die in unserer Studie ermittelte hohe Korrelation auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ belegt eine statistisch gesicherte Abhängigkeit zwischen den Parametern. Die Ergebnisse bestätigen, dass beide Halswirbelmethoden zur skelettalen Reifebestimmung mit der Handmethode vergleichbar sind. Die Korrelation der Handmethode (GP) mit der HWS-

Methode nach Lamparski (1972) zeigen niedrigere Werte als mit der HWS-Methode von San Roman et al. (2002). So ist die modifizierte Methode von San Roman et al., welche die Wirbel hinsichtlich ihrer Konkavität, Höhe und Form getrennt studierten und mit diesen 3 Variablen eine Gleichung zur genauen Bestimmung der skelettalen Reife aufstellten, besser geeignet.

4.5 Überprüfung der Gültigkeit der HWS-Methoden

Mit der in dieser und in anderen Arbeiten (z.B. Drücke, 2003) bestätigten Atlasmethode der Handröntgenaufnahmen nach Greulich und Pyle (1959) konnte die Gültigkeit der beiden Halswirbelmethoden (Lamparski, 1972, San Roman et al., 2002) überprüft werden. Für die beiden HWS-Methoden konnte mit Hilfe der bestimmten Regressionskoeffizienten (Tabelle 13 und 14) für jeden Probanden ein zugehöriges skelettales Alter berechnet werden. Diese skelettalen Alterswerte wurden überprüft, indem die Differenzen dieser Werte zu den mit Hilfe des Handskeletts bestimmten skelettalen Alterswerten berechnet worden. Die bestimmten Mittelwerte und Standardabweichungen sollen zum schnelleren Vergleich auch im Hinblick mit anderen Methoden dienen.

Die Spannweite der maximalen Differenz in Jahren reicht im Histogramm (Abb. 11 und 12) der HWS-Methode 1 bei männlichen Probanden von –5 bis 3,5 Jahre und bei weiblichen Probanden von –3 bis 3,5 Jahre. Der Streubereich bei Jungen ist größer. Bei der HWS-Methode 2 (Abb. 13 und 14) verhält es sich folgendermaßen: die Spannweite für Jungen ist identisch der HWS-Methode 1 und bei Mädchen ist sie mit –3 bis 2,5 Jahre geringer. Die Verteilung der Differenzwerte ist annähernd symmetrisch, wobei das Maximum der Verteilung in allen Fällen im Bereich zwischen 0 und 0,5 Jahren liegt.

Die mittleren Abweichungen des skelettalen Alters der HWS-Methoden zum chronologischen Alter sind für männlich Probanden 0,41 Jahre und weibliche Probanden 0,05 Jahre (Tabelle 19). Bei der mittleren Differenz des skelettalen Alters der HWS-Methoden von dem skelettalen Alter der Handmethode (GP) treten keine Abweichungen auf. Für die Bestimmung der Regressionskoeffizienten wurde das mit Hilfe des Handskeletts ermittelte skelettales Alter benutzt, d.h. die Phasen der Halswirbel wurden anhand des Handskeletts “geeicht“. Somit sind die Mittelwerte von 0 Jahren, bei der Differenz des skelettalen Alters der HWS-

Methoden von der Handmethode zu erwarten. Die durchschnittliche Differenz des chronologischen Alters vom skelettalen Alter (GP) zeigt negative Werte (-0,41 Jahre männlich und -0,05 Jahre weiblich). Dies verdeutlicht, dass der zu einem bestimmten chronologischen Alter gehörende Wert des skelettalen Alters über einen großen Altersbereich kleiner als der Wert des chronologischen Alters ist

Im Vergleich zu Mito et al. (2002) ist die durchschnittliche Differenz der berechneten skelettalen Alterswerte der Halswirbel vom skelettalen Alter der Hand und vom chronologischen Alter in dieser Arbeit kleiner. Bei dem Standardabweichungsvergleich verhält es sich umgekehrt. Es wurden in der Arbeit bei Mito et al. (2002) nur Mädchen untersucht.

Die Standardabweichungen (SD) der vorliegenden Arbeit sind bei den Differenzen mit der HWS-Methode 1 höher als mit der HWS-Methode 2. Die SD bei Jungen ist größer als bei den Mädchen. Es bestätigt die Arbeit von San Roman et al. (2002), der die Methode von Lamparski (1972) modifizierte und eine bessere Methode zur Bestimmung der skelettalen Reife der Halswirbel entwickelte.

4.6 Grenzfälle

Bei Vergleich der Reliabilität und der Korrelationswerte der HWS-Methoden verschiedener Studien gibt es Abweichungen, obwohl gleiche Bedingungen (Methoden, Probandenzahl, Korrelationsverfahren) vorliegen. Ein entscheidender Aspekt ist die Übung und Erfahrung des Untersuchers mit der HWS-Methode. Dieses Problem kann man vermindern. Jedoch wie ist es mit der Zuordnung von Grenzfällen und wie wird ein solcher Grenzfall beschrieben?

Die skelettale Reifeentwicklung ist ein kontinuierlicher Prozess, bei der jede Phase in die nächste übergeht. Die Reifeentwicklung eines Probanden beim Übergang zwischen zwei solchen Phasen wird als Grenzfall interpretiert. Der Grenzbereich von zwei aufeinander folgenden Phasen stellt oft ein Problem für den Untersucher dar. Dabei können die Reifeindikatoren nicht immer exakt zu einer Phase zugeordnet werden. Diese Grenzfälle sind, wie auch bei Hassel und Farman (1995) berichtet, manchmal schwierig zu differenzieren. So kann ein Proband, der sich zwischen zwei Phasen befindet, in eine reifere oder weniger reifere

Phase eingestuft werden. Liegt die reifere Phase kurz nach dem Wachstumsgipfel bzw. die weniger reifere davor, so kann dieses Ergebnis große Auswirkungen auf die Behandlungsplanung und Therapie haben. Zusätzliches Training kann die meisten dieser Fälle eliminieren, jedoch ein gewisses Restrisiko wird bleiben. Zumindest sollte jeder Untersucher trotz der subjektiven Betrachtung der Röntgenbilder seine Genauigkeit in der Einschätzung kennen. Grenzfälle betreffen jedoch nicht nur die Halswirbelmethode, sondern es gibt sie auch bei der Handmethode.

Die FRS in den Abbildungen 19 und 20 des gleichen männlichen Probanden zu einem früheren und späteren Zeitpunkt, sollen die Schwierigkeiten, die bei der Zuordnung der „richtigen“ Phase anhand der Merkmale Konkavität, Höhe und Form der HWS-Methoden auftreten können, verdeutlichen. Ob es sich bei diesen Probanden um einen Grenzfall handelt, ist nicht sicher, aber die Zuordnung der entsprechenden Phase der Halswirbelkörperentwicklung dieses Patienten gestaltet sich schwierig. Die Daten dieses männlichen Probanden wurden nicht für unsere statistischen Berechnungen verwendet, sondern sollen nur als Anschauung dienen. Betrachtet man das Röntgenbild in Abbildung 19 genau, sieht man beginnende Einziehungen an C2-C4. Wird auch noch ein Lineal als Hilfsmittel angelegt, dann besteht kein Zweifel mehr an der Konkavitätsbildung. Vergleicht man jedoch diese Röntgenaufnahme mit dem FRS 3 Jahre und 8 Monate später (Abbildung 20), so sind die Konkavitäten von C2-C4 im späteren FRS deutlicher sichtbar im Vergleich zum früheren FRS (Abbildung 19). Das heißt, bei keinem direkten Vergleich der beiden FRS könnte fast die gleiche skelettale Reife zugeordnet werden. Es besteht jedoch eine Veränderung in dem Ausmaß der Konkavität dieser beider FRS. Die Konkavitäten in Abbildung 19 hätten noch nicht als solche erkannt werden dürfen. San Roman (2002) sah eine Konkavität erst als vorhanden an, wenn die Entfernung von der Mitte des unteren Randes zur Verbindungslinie der unteren Winkel größer 1 mm war. In unserer Studie wurde jedoch diese Bedingung ausgeschlossen. Für Fälle dieser Art wäre es besser gewesen, die Phasenbeschreibung für das Merkmal Konkavität nach San Roman (2002) anzuwenden, um einer Fehleinschätzungen vorzubeugen. Beim Merkmal „Höhe“ hat die Höhe von C3 und C4 3 Jahre und 8 Monate später in Abbildung 20 zugenommen. Die Höhe (Abbildung 20) ist nun zwischen 80-99% der Breite. Die skelettale Reife (Abbildung 20) ist eine Phase fortgeschritten. Die Einschätzung des Merkmales „Höhe“ beider FRS mit der HWS-Methode 2 bereitet kaum Schwierigkeiten. Beim Merkmal „Form“ sieht es etwas anders aus. In

Abbildung 19 ist die Form von C3 und C4 eher rechteckig als keilförmig. Ein Fehlen des oberen ventralen Winkels kann nicht eindeutig festgestellt werden. Auch die Form bei höherem Lebensalter in Abbildung 20 ist noch rechteckig, obwohl die Wirbelkörperhöhe zugenommen hat. Aber ist sie damit gleich „annähernd quadratisch“ entsprechend Phase 4 beim Merkmal „Form“ der HWS-Methode 2? Wenn man die beiden FRS nicht direkt miteinander vergleichen könnte, hätte der Untersucher für beide FRS die gleiche Entwicklungsphase festgelegt. Die Einschätzung der „richtigen Phase“ der HWS-Methode 1 für diesen Probanden gestaltet sich noch schwieriger. In der HWS-Methode 1 werden die Merkmale nicht getrennt betrachtet. Nach der Form wäre die Phase 5 zutreffend. Jedoch anhand der Entwicklung der Konkavität müsste man sich für eine kleinere Phase entscheiden.

Das Handling solcher komplizierten Fälle ist nur mit ausreichend Übung und Erfahrung zu beherrschen. Außerdem ist für die Beurteilung der skelettalen Reife anhand dieses schwierig interpretierbaren FRS in Abbildung 19 eine Handröntgenaufnahme als zusätzliches diagnostisches Mittel indiziert.

4.7 Extremfälle

Fünf Probanden wiesen deutliche Diskrepanzen zwischen den bestimmten Reifensystemen chronologisches Alter, skelettales Alter der Handmethode und skelettale Reife der Halswirbelmethoden auf. Sie wurden nicht in das Untersuchungsgut aufgenommen. Das Wissen um das Vorhandensein und die Erkennung solcher Extremfälle oder mögliche Fehler seitens des Untersuchers ist wichtig.

So wird ein Extremfall durch Röntgenbilder in unserer Studie dokumentiert und in den Abbildungen 17-20 vorgestellt. Es handelt sich um einen männlichen Probanden, der eine große Diskrepanz zwischen dem chronologischen Alter und dem skelettalen Alter der Handmethode, zeigt. Außerdem ist ein großer Unterschied zwischen dem skelettalen Alter der Handmethode und dem skelettalen Alter der HWS-Methoden vorhanden. Der Junge war zum Zeitpunkt der HA in Abbildung 17 und des FRS in Abbildung 19 11 Jahre und 1 Monat alt. Nach Sichtung der charakteristischen Reifeindikatoren der Handröntgenaufnahme (Abbildung 17) und Zuordnung der entsprechenden Standardaufnahmen nach Greulich und Pyle (1959) konnte ein skelettales Alter von 7 Jahren und 6 Monaten bestimmt werden. Dies bedeutet eine

Diskrepanz beider Reifesysteme von 3 Jahren und 7 Monaten. Im Kapitel 4.2 wurde der Zusammenhang des chronologischen Alters zum mittleren skelettalen Alter untersucht. Dabei war für unsere Population der zur Altersklasse 11 Jahre gehörende Wert, des mittleren skelettalen Alters, 10,67 Jahre. Der Junge liegt somit in seiner Skelettreifung gegenüber den anderen Probanden unserer Studie weit zurück. 1 Jahr und 8 Monate später weist er mit einem Alter von 12 Jahren und 9 Monaten im HA (Abbildung 18) eine enorme Skelettreifung auf. Ein so großer Wachstumsschub innerhalb dieses Zeitraumes ist sehr ungewöhnlich und ein Extremfall. Die Bestimmung des skelettalen Alters der HWS-Methoden dieses Jungen ist, wie Kapitel 4.6 beschrieben, schwierig. Wenn wir nach der Methode von San Roman et al. (2002) vorgehen und eine Konkavität erst als vorhanden ansehen, wenn die Entfernung von der Mitte des unteren Randes zur Verbindungslinie der unteren Winkel größer 1 mm ist, so würde der Entwicklungsstand der Wirbelkörper für das Merkmal „Konkavität“ in Abbildung 19 der Phase 1 entsprechen. Für das Merkmal „Höhe“ wird die Phase 1 und für das Merkmal „Form“ die Phase 2 bestimmt. Anhand dieser Phasen konnte ein skelettales Alter von 10,13 Jahren berechnet werden. Für die HWS-Methode 1 in Abbildung 19 wurde ein skelettales Alter von 9,80 Jahren errechnet. Das skelettale Alter der HWS-Methoden weicht nicht so deutlich, wie das skelettale Alter der Handmethode, vom chronologischen Alter ab. Jedoch der Unterschied vom skelettalen Alter der Handmethode (7,5 Jahre) und dem skelettalen Alter der HWS-Methode 1 (9,80 Jahre) & 2 (10,13 Jahre) ist ungefähr 3 Jahre. Dies verdeutlicht noch einmal, dass es sich bei diesem Jungen um einen Extremfall handeln muss, da die Alter der drei Reifesysteme unserer anderen Patientendaten enger beieinander liegen. Bei diesem Extremfall ist die Entwicklung der verschiedenen Teile des Körpers unterschiedlich. Vielleicht wird die Entwicklung der Handwurzel durch irgendeinen Einfluss gebremst.



Abbildung 17. 11 Jahre 1 Monat



Abbildung 18. 12 Jahre 9 Monate



Abbildung 19. 11 Jahre 1 Monat



Abbildung 20. 14 Jahre 9 Monate

5 Schlussfolgerung

Das Ablesen der skelettalen Reife mittels der Reifeindikatoren der Hand und der Halswirbel ist unserer Meinung nach mit der Handröntgenaufnahme zunächst etwas einfacher. Zum einen, weil die Hand eine große Anzahl von Ossifikationszentren besitzt und somit viele Reifeindikatoren aufweist. Zweitens sind die Begrenzungen und Konturen der knöchernen Strukturen in den Handröntgenaufnahmen deutlicher sichtbar. Es gibt weniger Überlagerungen von Weichteilen und weniger Verzerrungen. Jedoch mit viel Übung und der damit gewonnenen Erfahrung lassen sich die Formveränderungen der Halswirbelkörper immer besser einschätzen. Die modifizierte Methode von San Roman et al. (2002), welche die Wirbel hinsichtlich ihrer Konkavität, Höhe und Form getrennt betrachteten, ist gegenüber der Lamparski-Methode weiterentwickelt und besser. Es ist einfacher für den Untersucher, die anatomischen Parameter getrennt zu bewerten, als anhand aller Parameter ein Entwicklungsstadium zu bestimmen.

Pancherz und Szyska (2000) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass eine HWS-Methode mindestens so weit differenziert sein sollte, dass beim pubertären Wachstum vor und nach der Wachstumsspitze unterschieden werden kann. Die Position der Stadien der Halswirbelkörperentwicklung in der Wachstumskurve können mit unserer Querschnittsstudie nicht ermittelt werden, da keine kontinuierlichen Größenmessungen sowie FRS vorlagen. Dies müsste in einer weiteren Longitudinalstudie untersucht werden. Das erzielte Ergebnis anhand der HWS-Methoden ist jedoch vergleichbar mit der Handmethode und deshalb sicherlich anwendbar, um das Wachstumspotential eines Probanden beurteilen zu können. So kann die Handröntgenaufnahme ersetzt und die zusätzliche Röntgenbelastung vermieden werden.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, drei Methoden miteinander zu vergleichen, die die skelettale Reife bestimmen: die Methode von Greulich und Pyle (1959) mit Hilfe von Handröntgenaufnahmen (HA), die Methode von Lamparski (1972) (Halswirbelmethode: HWS1) und die Methode von San Roman et al. (2002) (Halswirbelmethode: HWS2) mit Hilfe von Fernröntgenseitenaufnahmen (FRS). Des Weiteren wurden von den drei Methoden die Zuverlässigkeit, die Gültigkeit und die Reproduzierbarkeit bestimmt. Die HA und FRS von 392 Kindern (195 Mädchen und 197 Jungen, Alter von 7-18 Jahren) wurden für statistische Berechnungen verwendet. Die Intrabeobachterzuverlässigkeit und- reproduzierbarkeit der drei Methoden wurde eine Woche später von 30 zufällig ausgewählten HA mit entsprechender FRS überprüft. Es wurden Übereinstimmungen von 60-87% bei den HWS-Methoden und 43% bei der Handmethode (40 % Abweichung nur 6 Monate) festgestellt.

Die Morphologie des zweiten (C2), dritten (C3) und vierten (C4) Halswirbelkörpers wurde untersucht und die Phase der skelettalen Reife wurde bestimmt. Um die skelettale Reife der Halswirbelmethoden (HWS 1&2) mit dem skelettalen Alter der Handmethode zu vergleichen, mussten wir die Phasen der HWS 1&2 in ein skelettale Alter umwandeln. Wir erstellten eine Regressionsgleichung, um das skelettale Alter der Halswirbelkörper zu erhalten. Eine einfache Regressionsgleichung als Funktion von Phase (x) der HWS1 und eine multiple Regressionsgleichung als Funktion von Konkavität (x1), Höhe (x2) und Form (x3) der HWS2 der Halswirbelkörper wurde benutzt, um das skelettale Alter zu bestimmen. Für die Korrelationskoeffizienten zwischen dem berechneten skelettalen Alter der HWS1- bzw. HWS2- Methode und dem skelettalen Alter nach Greulich und Pyle ergaben für Mädchen die Werte 0,82 bzw. 0,84 und für Jungen die Werte 0,69 bzw. 0,75. Die Korrelationskoeffizienten zwischen dem nach den Halswirbelmethoden berechneten skelettalen Alter und dem chronologischen Alter sind deutlich niedriger. Für die HWS1-Methode erhält man die Werte 0,68 (Mädchen) und 0,60 (Jungen) bzw. für die HWS2-Methode die Werte 0,69 (Mädchen) und 0,63 (Jungen). Die HWS2-Methode von San Roman et al. (2002) war somit besser als die Lamparski Klassifikation.

Die Ergebnisse zeigen, dass in der Bewertung der skelettalen Reife die FRS die HA ersetzen kann, so dass die zusätzliche Röntgenstrahlung vermieden werden kann.

7 Abstract

The aim of this study was to compare three methods that evaluate skeletal maturity: the method of Greulich and Pyle (1959) based on hand-wrist radiographs, the method of Lamparski (1972) (cervical vertebrae method: CVM1) and the method of San Roman et al. (2002) (cervical vertebrae method: CVM2) based on cervical vertebrae radiographs. In addition, the reliability, the validity and reproducibility of these three methods were determined. The hand-wrist radiographs and the lateral cephalometric radiographs of 392 children (195 girls and 197 boys; aged 7-18 years) were used for statistical analysis. One week later, the intraexaminer reliability and reproducibility of the three methods was reviewed by 30 randomly chosen hand-wrist radiographs with their corresponding cervical vertebrae radiographs. Agreements from 60-87% were established by the cervical vertebrae method and 43% (40% deviation only 6 months) by the hand-wrist method.

The morphology of the second (C2), third (C3) and fourth (C4) cervical vertebra body was investigated and the stage of skeletal maturation was determined. To compare the skeletal maturation from CVM 1 and 2 with the skeletal age from the hand-wrist method we had to convert the stage of CVM 1&2 into a skeletal age. We created a regression equation to obtain the cervical vertebral bone age. A simple regression equation as a function of CVM1 stage (x) and a multiple regression equation as a function of CVM2 concavity (x1), height (x2) and shape (x3) of the cervical vertebrae bodies determined the skeletal age (y). By analyzing the correlation coefficients between the calculated cervical vertebral age of the CVM1 respectively the CVM2 method and the skeletal age of the hand-wrist radiograph the following values were computed: 0,82 and 0,84 for girls and 0,69 and 0,75 for boys. The correlation coefficients between the cervical vertebral age by the CVM1 respectively the CVM2 method and chronological age are considerably lower. By applying the CVM1 method we received the values 0,68 for girls and 0,60 for boys. By applying the CVM2 method we received the values 0,69 for girls and 0,63 for boys. Therefore, the CVM2 method of San Roman et al. (2002) was superior to the Lamparski method.

The results show that the cervical vertebrae on radiographs can replace the hand-wrist radiograph in the evaluation of the skeletal maturity and that the additional roentgen exposure can be avoided.

8 Literaturverzeichnis

Baccetti T, Franchi L, Mc Namara JA 2002

An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth.

Angle Orthod 72:316-323

Baccetti T, Franchi L, Mc Namara JA 2005

The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics.

Semin Orthod 11:119-129

Björk A and Helm S 1967

Prediction of the age of maximum pupertal growth in body height.

Angle Orthod 37:134-143

Björk A 1972

Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation.

Trans Eur Orthod Soc p. 61.

Caltabiano M, Leonardi R, Zaborra G. 1990

Valutazione delle vertebre cervicali per la determinazione dell'età scheletrica.

Rivista Italiana di Odontoiatria Infantile 57: 93-178

Zitiert in Roman PS, Palma JC, Oteo Nevado E 2002

Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development.

Eur J Orthod 24:303-311

Chen F, Terada K, Hanada K 2004

A new method of predicting mandibular length increment on the basis of cervical vertebrae.

Angle Orthod 74:630-634

Chen F, Terada K, Hanada K 2005

A special method of predicting mandibular growth potential for class 3 malocclusion.

Angle Orthod 75:191-195

Drücke C 2003

Vorstellung und Verifizierung einer modifizierten Methode zur dentalen Altersbestimmung.

Eichung des dentalen und skelettalen Alters für Nord und Mittelhessen.

Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Fahrmeir, Künstler, Pigeot, Tutz 2004

Statistik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Fishman LS 1982

Radiographic evaluation of skeletal maturation: a clinically oriented study based on hand-wrist films.

Angle Orthod 52:88-112

Fishman L 2000

Maturational development and facial form relative to treatment timing.

In: Subtenly J, ed. Early orthodontic treatment

Quintessence Publishing Chicago:265-285

Flores-Mir C, Burgess C A, Champney M, Jensen R J, Pitcher M R, Major P W 2006

Correlation of skeletal maturation stages determined by cervical vertebrae and hand-wrist evaluations.

Angle Orthod 76:1-5

Franchi L, Baccetti T, McNamara JA 2000

Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 118:335-340

Gandini P, Maucini M, Andreani F 2006

A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation.

Angle Orthod 76(6): 984-989

Garcia-Fernandez P, Torre H, Flores L, Rea J 1998

The cervical vertebrae as maturational indicators.

J Clin Orthod 32:221-225

Grave K, Brown T 1976

Skeletal ossification and the adolescent growth spurt.

Am J Orthod 69:611-619

Grave K, Townsend G 2003

Cervical vertebral maturation as a prediction of the adolescent growth spurt.

Aust Orthod J 19:25-32

Greulich W, Pyle S 1959

Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Second edition.

Stanford University Press, Stanford, California

Hägg U, Matson L 1985

Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods.

European Journal of Orthodontics 7:25-35

Hägg U and Taranger J 1980

The timing and duration of adolescent growth.

Acta Odontol Scand 38:57-67

Hägg U and Taranger J 1980

Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt.

Acta Odontol Scand 38:187-200

Hassel B and Farman A 1995

Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 107:58-66

Hellsing E 1991

Cervical vertebral dimension in 8-11 and 15 year old children.

Acta Odontol Scand 49:207-213

Kucukkeles N, Acar A, Biren S, Arcun T 1999

Comparisons between cervical vertebrae and hand-wrist maturation for the assessment of skeletal maturity.

Journal of Clin Pediatr Dent 24(1):47-52

Lamparski DG 1972

“Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae.”, Master of Science thesis, University of Pittsburg.

Lamparski DG; Nanda SK 2002

“Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae.” In Treatment Timing: Orthodontics in four dimensions”, Editor James A. McNamara, Jr., Katherine A. Kelly, Volume 39, Craniofacial Growth Series, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

McNeill Alexander R 2005

Human bones: A scientific and pictorial investigation.

Mitani H, Sato K 1992

Comparison of mandibular growth with other variables during puberty.

Angle Orthod 62: 217-222

Mito T, Sato K, Mitani H 2002

Cervical vertebral bone age in girls.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 122:380-385

Mito T, Sato K, Mitani H 2003

Predicting mandibular growth potential with cervical vertebral bone age.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 124:173-177

Nanda K 1999

Some comments on estimation normal craniofacial growth. Center for Human Growth and Development, University of Michigan.

Ann Arbor 323-365

O'Reilly M and Yanniello G 1988

Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae a longitudinal cephalometric study.

Angle Orthod 58:179-184

Pancherz H, Szyska M 2000

Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife.

IOK 32:151-161

San Roman P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E 2002

Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development.

Eur J Orthod 24:303-311

Sato K, Mito T, Mitani H 2001

An accurate method of predicting mandibular growth potential based on the bone maturity.

Am J Orthod 120:286-293

Tandler J 1926

Lehrbuch der systematischen Anatomie

F. C. W. Vogel, Leipzig

Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H 1983

Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)

UK: Academic Press, London

Zitiert in Mito T, Sato K, Mitani H 2002

Cervical vertebral bone age in girls.

Am J Orthod Dentofacial Orthop 122:380-385

Todd TW 1937

Atlas of skeletal maturity (hand)

St Louis, Mosby

Zitiert in Lamparski DG, Nanda SK 2002

Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae, master's thesis.

University of Pittsburg

Uysal T, Ramoglu SI, Basciftci FA, Sari Z 2006

Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and hand-wrist: Is there a relationship?

Am J Orthod Dentofacial Orthop 130:622-628

9 Anhang

10 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren der Universität Marburg an der Lahn:

Aumüller, Austermann, Cetin, Coca, Daut, Dibbets, Feuser, Flores de Jacoby, Folz, Gente, Gloerfeld, Hasilik, Holzheidt, Kohlmann, Höffken, Lehmann, Lill, Lotzmann, Lohoff, Mengel, Mittag, Pieper, Plant, Radsak, Ramaswamy, Röhm, Seitz, Sonntag, Stachniss, Stoll, Suske, Umstadt, Weihe, Werner.

11 Danksagung

Herrn Professor Dr. J.M.H. Dibbets, meinem Doktorvater und Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Marburg, danke ich sehr für das Dissertationsthema und seine kompetente, intensive und motivierende Betreuung bei der Arbeit.

Ein ebenso großer Dank gilt Herrn Dr. Bernd Müller für seine Unterstützung und seine stete Hilfsbereitschaft bei allen Fragen.

Danken möchte ich auch allen Mitarbeitern der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Marburg für ihre freundliche und hilfsbereite Art.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, die immer an mich geglaubt haben und während dieser Zeit immer für mich da waren.